



# **MAAKAASUN TULEVAISUUS SUOMEN TEOLLISUUDESSA**

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Ympäristötekniikan kandidaatintyö

2023

Emmi Nylund

Tarkastaja: Tutkijaopettaja, Mika Luoranen

Ohjaaja: Nuorempi tutkija, Mikko Ropo

## TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT School of Energy Systems

Ympäristötekniikka

Emmi Nylund

### **Maakaasun tulevaisuus Suomen teollisuudessa**

Ympäristötekniikan kandidaatintyö

2023

39 sivua, 7 kuvaa ja 1 taulukko

Työn tarkastaja: Tutkijaopettaja, Mika Luoranen

Työn ohjaaja: Nuorempi tutkija, Mikko Ropo

Avainsanat: maakaasu, energia, ympäristövaikutukset, teollisuus, REPowerEU, vihreä siirtymä

Tämä kandidaatintyö tarkastelee maakaasun tulevaisuutta Suomen teollisuudessa. Työn tavoitteena on tutkia, millaisilla vaihtoehdoilla itätuotettu maakaasu voidaan korvata Suomessa sekä muualla Euroopassa. Tavoitteena on myös selvittää näiden korvaavien energiamuotojen haasteita. Työ on toteutettu kirjallisuuskatsauksena ja rajattu ympäristönäkökulmaan.

Maakaasua korvaavat energiamuodot, joihin työssä tutustutaan, on suurimmaksi osaksi esitetty Euroopan Unionin laatimassa REPowerEU-suunnitelmassa. Nämä toimenpiteet ovat LNG-kaasun käyttö, vedyn hyödyntäminen, biokaasun käytön lisääminen, synteettisen metaanin valmistus, uusiutuvien energialähteiden parantaminen ja energiatehokkuuden parantaminen sekä energiansäästötoimet.

Edellä mainituilla toimenpiteillä on mahdollisuus korvata yli 180 miljardin kuutiometrin edestä venäläistä maakaasua, joka kattaa kirkkaasti koko maakaasun tuonnin Venäjältä Eurooppaan. Työn tulokset ovat esiteltynä taulukkomuodossa ja taulukkoon on tiivistetysti kerrottu kunkin vaihtoehtoisen energiamuodon edut, haasteet sekä potentiaali korvata Venäjältä tuotava maakaasu EU-tasolla. Maakaasun käyttöä ja sen korvaamista Suomessa on pohdittu vihreän siirtymän ja ympäristöystävällisyyden kannalta.

## ABSTRACT

Lappeenranta-Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT School of Energy Systems

Environmental Technology

Emmi Nylund

### **The future of natural gas in Finnish industry**

Bachelor's thesis

2023

39 pages, 7 figures and 1 table

Examiner: Associate Professor, Mika Luoranen

Instructor: Younger researcher, Mikko Ropo

**Keywords:** natural gas, energy, environmental impacts, industry, REPowerEU, green transition

This bachelor's thesis examines the future of natural gas in Finnish industry. The aim of the study is to investigate alternative options for replacing Russian-imported natural gas in Finland and elsewhere in Europe. The aim is also to identify the challenges with these alternative energy sources. The study is conducted as a literature review with a focus on environmental perspectives.

The alternative energy sources explored in this thesis are largely presented in the REPowerEU plan by the European Union. These measures include the use of LNG gas, utilization of hydrogen, increasing the use of biogas, producing synthetic methane, improving renewable energy sources, improving energy efficiency and energy saving measures.

By implementing the aforementioned measures, it is possible to replace over 180 billion cubic meters of Russian natural gas, which clearly covers the entire import of natural gas from Russia to Europe. The results of this thesis are presented in table form and the table summarizes the advantages, challenges, and potential of replacing the natural gas imported from Russia to Europe. The use of natural gas and its replacement in Finland are discussed from the perspective of the green transition and environmental sustainability.

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO.....	1
1 Johdanto.....	2
2 Maakaasu.....	3
2.1 Maakaasun jakeluverkko Suomessa.....	3
2.2 Maakaasun ympäristövaikutukset.....	5
2.3 Maakaasun käyttö Suomen teollisuudessa.....	7
3 Maakaasun korvaaminen.....	9
3.1 LNG-kaasun käyttö.....	9
3.2 Vedyn hyödyntäminen.....	10
3.3 Biokaasun käytön lisääminen.....	12
3.4 Synteettisen metaanin valmistus.....	13
3.5 Uusiutuvien energialähteiden kehittäminen.....	14
3.6 Energian säästäminen ja energiatehokkuuden parantaminen.....	16
4 Maakaasun korvaamisen haasteet.....	17
4.1 LNG-kaasun käytön haasteet.....	17
4.2 Vedyn käytön haasteet.....	18
4.3 Biokaasun käytön haasteet.....	19
4.4 Synteettisen metaanin haasteet.....	19
4.5 Uusiutuvien energialähteiden haasteet.....	19
4.6 Energian säästämisen ja energiatehokkuuden parantamisen haasteet.....	20
5 Maakaasun käyttö tulevaisuudessa.....	22
5.1 Tulokset.....	22
5.2 Vihreä siirtymä.....	24
6 Johtopäätökset.....	26
7 Yhteenveto.....	27
Lähteet.....	28

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

### Yksiköt

bar	Baari
CO <sub>2</sub> e	Hiilidioksidiekvivalentti
g	Gramma
GWh	Gigawattitunti
km	Kilometri
m <sup>3</sup>	Kuutiometri
MJ	Megajoule
MW	Megawatti
TWh	Terawattitunti
%	Prosentti
°C	Celsiusaste

### Lyhenteet

CCS	Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi (Carbon Capture and Storage)
CHP	Yhdistetty lämmön ja sähköntuotanto (Combined Heat and Power)
EU	Euroopan Unioni
IPCEI	Tärkeät yhteiseurooppalaiset hankkeet (Important Projects of Common European Interest)
LNG	Nesteytetty maakaasu (Liquid Natural Gas)

# 1 Johdanto

Epävakaassa maailmantilanteessa energiavalinnoilla on yhä suurempi rooli yhteiskunnassa. Uusiutuvien energialähteiden käyttö on lisääntymässä, ja niiden tarve sekä kysyntä on kasvanut. Venäjän käynnistämä hyökkäyssota Ukrainaan alkuvuodesta 2022 pakotti monet maat, myös Suomen, vähentämään riippuvuuttaan Venäjältä tulevaan energiaan. Yhtenä maailman hallitsevimista fossiilisten polttoaineiden tuottajista sekä viejistä Venäjällä on myös dominoiva rooli Suomen fossiilisten polttoaineiden lähteenä. Suomen energian kokonaiskulutus olisi vajavainen ilman Venäjältä tuotua energiaa, mikä kattaa jopa 34 % Suomen energiankulutuksesta. Vuonna 2021 Suomen kokonaisenergiankulutuksesta noin 5 % oli maakaasua ja tästä kulutetusta maakaasusta 92 % oli peräisin Venäjältä. (Tilastokeskus 2021a.)

Uusiutuvien energiamuotojen kehittelyä on tutkittu ja edistetty jo ennen Venäjään kohdistuvia pakotteita ja nämä energiamuodot luovat mahdollisuuksia korvata maakaasua tulevaisuudessa. Aihe on kuitenkin ajankohtainen, joten montaakaan tutkimusta ei maakaasun tulevaisuudesta ole tehty. Tässä kandidaatintyössä selvitetäänkin suomalaisen teollisuuden vaihtoehtoja itätuotetun maakaasun korvaamiseen, ja tästä aiheutuvia merkittävimpiä haasteita. Työn tutkimusmenetelmänä käytetään kirjallisuuskatsausta ja työ on rajattu ympäristönäkökulmaan.

Työn tavoitteena on tutkia, millainen tulevaisuudennäkymä maakaasulla on Suomen teollisuudessa sekä millaisia eri tapoja on korvata Venäjältä tuotu maakaasu Euroopassa. Työn rakenne jakautuu maakaasun käyttöön Suomen teollisuudessa, maakaasun ympäristövaikutuksiin, maakaasua korvaavien energiamuotojen käsittelyyn, niiden haasteisiin ja tuloksiin. Työn tutkimuskysymykset ovat:

- Millaisilla menetelmillä maakaasu voidaan korvata?
- Mitkä ovat korvaavien energiamuotojen haasteet?
- Millainen on maakaasun käytön tulevaisuus Suomessa?

## 2 Maakaasu

Maakaasu on fossiilinen polttoaine, jonka pääkomponenttina on metaani, mutta sen koostumus voi kuitenkin vaihdella eri tuotantolähteillä. Venäjältä Suomeen kuljetettavassa maakaasussa on metaanin lisäksi pieniä määriä etaania, propaania, butaania, typpeä ja hiilidioksidia. Yleisimmin maakaasua käytetään polttoaineena energiantuotannossa, kuten sähkön ja lämmön tuotantoon, mutta sitä voidaan käyttää myös ajoneuvojen polttoaineena sekä teollisissa prosesseissa. Maakaasua syntyy maan alla biomassan hajotessa ja se on myös monen kemiallisen yhdisteen kuten metanolin ja ammoniakkin ainesosa. (Pöyry 2019.)

Muihin fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna maakaasu on kaikkein puhtain ja vähäpäästöisin vaihtoehto, sillä sen hiilidioksidipäästöt ovat paljon pienemmät, kun esimerkiksi kivihiilellä (Fortum 2023a). Suomessa maakaasun käyttö keskittyy lähinnä kaukolämpöön, sähkön yhteistuotantoon ja prosessiteollisuuteen, merenkulkuun sekä raskaaseen liikenteeseen (Gasum 2023a).

Maakaasua on erillisten maakaasuesiintymien lisäksi öljylähteissä vapaana kaasuna sekä öljyyn liuenneena. Maakaasua löytyy myös kivihiili- tai öljyliuske-esiintymissä, liuskekivimuodostumissa sekä liuskekaasuna. Sitä esiintyy myös maakaasuhydraatteina, jotka ovat kiinnittyneenä jäähän. (Klemola 2013.)

Suurimmat maakaasuvarat ovat Venäjällä, Iranilla, Qatarilla, Saudi-Arabialla, Yhdistyneillä arabiemiirikunnilla ja Yhdysvalloilla. Maailman suurimmista maakaasukentistä 80 prosenttia sijaitsee Venäjällä. Länsi-Siperiassa Urengoyn kentällä on maailman suurimmat maakaasuvarat. Se sijaitsee noin 3300 kilometrin päässä Venäjän ja Suomen rajalta. (Klemola 2013.)

### 2.1 Maakaasun jakeluverkko Suomessa

Maakaasun siirto- tai jakeluverkko muodostuu toisiinsa liitetyistä maakaasuputkista ja niihin kuuluvista laitteista. Ennen EU-pakotteita ja sotatoimia kaasua siirrettiin Suomeen kahden eri pisteen kautta, jotka olivat Imatran rajapiste sekä Suomen ja Viron välinen Balticconnector-yhdyspiste. Maakaasun maahantuonti Imatran rajapisteen kautta loppui kuitenkin keväällä 2022, sillä Gasumin ja venäläisen yrityksen Gazprom Exportin

pitkäaikainen maakaasun hankintasopimus raukesi sopimuserimielisyyksien takia. (Gasgrid 2023.) Gazprom Export vaati, että tulevaisuudessa maksut maakaasusta tulisi maksaa ruplilla. Yritys esitti muitakin vaatimuksia sopimukseen liittyen, mutta Gasum ei kuitenkaan hyväksynyt yrityksen asettamia edellytyksiä, minkä seurauksena maakaasutoimitukset Venäjältä Suomeen loppuivat toukokuussa 2022. (Gasum 2023a.)

Imatran rajapisteen ollessa kiinni maakaasua tuodaan Suomen ja Viron välisen Balticconnector-kaasuputken kautta. Putki mahdollistaa yhteyden myös Liettuassa sijaitsevaan LNG-terminaaliin sekä maakaasuvaramoisiin Incukalnisissa. Balticconnector-putki yhdistää Suomen ja Baltian maiden väliset kaasumarkkinat. (Gasgrid 2023a.) Tämän avulla Suomen kaasumarkkinoiden eristäytyneisyyttä saadaan poistettua ja kaasun toimitusvarmuus Itämeren alueella kasvaa (Euroopan komissio 2016). Kuten kuvasta 1 nähdään, Suomen maakaasuverkosto sijoittuu tällä hetkellä pääosin Etelä-Suomen alueelle ja maakaasua tulee Suomeen ainoastaan Viron kautta.



**Kuva 1.** Balticconnector-maakaasuverkosto (Huttunen 2022).

Merenalaisen Balticconnector-maakaasuputken pituus on noin 77 km (Gasgrid 2023b) ja siinä voidaan kuljettaa noin 7,2 milj.m<sup>3</sup> maakaasua vuorokaudessa. Vuosittainen

läpivirtauskyky on noin 5 TWh terminaalista. Putkilinjan nimellishalkaisija on 500 mm ja painekapasiteetti 80 bar. (Hydrocarbons technology 2023.) Balticconnector-putkessa kaasu voi liikkua myös Suomesta Viroon, jos kaasu on halvempaa Suomessa kuin Virossa. Kaasun suunta määritellään kompressioasemilla, jotka sijaitsevat Suomen päässä Inkoossa ja Virossa Paldiskilla. Kompressioasemilla on venttiilit, joiden asentoa muuttamalla kaasun virtaussuunta muuttuu. Putkessa voi maakaasun lisäksi liikkua myös LNG-kaasua ja biokaasua. (Nuotio 2019.)

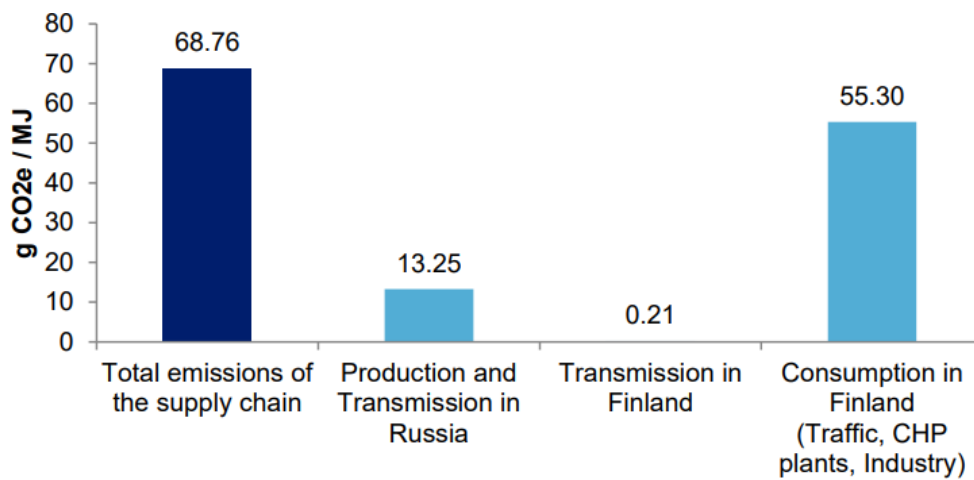
## 2.2 Maakaasun ympäristövaikutukset

Energiayhtiö Gasum on teettänyt tutkimuksen Venäjältä Suomeen tulevan maakaasun elinkaaren aikana syntyvistä ympäristövaikutuksista. Selvityksen toteutti konsultointiyritys Pöyry ja tarkasteltavina osa-alueina oli ilmaston lämpeneminen, maaperä- ja kasvillisuusvaikutukset, luonnonvarojen käyttö sekä jätteiden ja jätevedenkäsittelyn vaikutukset. (Pöyry 2019.)

Maakaasun talteenottoiminnasta, itse maakaasusta ja sen sivutuotteista vapautuu päästöjä ilmaan. Suurin osa tuotantoon liittyvistä päästöistä syntyy polttamalla tai tuulettamalla. Ilmaan joutuvat päästöt aiheutuvat myös sähkön ja lämmön tuotannosta sekä maakaasun kuljetuksesta, mikäli käytetään fossiilisia polttoaineita kuten bensiiniä tai dieselpolttoainetta. Maakaasun tuotantotoiminnan kehittämisestä syntyy hiilivetyjä. Nämä hiilivedyt on jätettävä ilmaan tai sytytettävä palamaan, jos niitä ei voida jalostaa heti. Hiilivetyjen palaminen aiheuttaa hiilidioksidi-, typenoksidi-, rikkioksidi- ja hiukkaspäästöjä. Nämä päästöt vaikuttavat haitallisesti ilmanlaatuun ja ympäristöön. (Pöyry 2019.)

Kun metaania poltetaan ja sitä käytetään lämmön tai sähkön tuottamiseen, se aiheuttaa vähiten hiilidioksidipäästöjä verrattuna muihin fossiilisiin polttoaineisiin kuten öljyyn ja hiileen. Maakaasun polton aikana metaani ja palamisilma tuottavat pääasiassa hiilidioksideja ja typen oksideja. Maakaasu itsessään ei kuitenkaan sisällä typpeä, joten typpipäästöjen määrä riippuu polttimen tai laitoksen ominaisuuksista. Maakaasun polttaminen ei myöskään tuota rikkioksidipäästöjä, koska luonnossa esiintyvä rikki poistetaan maakaasua käsiteltäessä. Rikkidioksidipäästöjä vapautuu ilmakehään ainoastaan maakaasun tuotannossa Venäjällä. (Pöyry 2019.)

Kuva 2 näyttää, mistä prosesseista maakaasun elinkaaren aikana syntyy kasvihuonekaasupäästöjä. Kuvasta nähdään, että maakaasun kulutuksella Suomessa on suuri vaikutus kasvihuonekaasupäästöjen kokonaismäärään. Päästöt kulutusvaiheessa syntyvät maakaasun käytöstä CHP-laitoksissa, teollisuudessa tai liikenteessä. Tuotanto ja kuljetus Venäjällä oli 19 % ja Suomessa vastaava luku oli alle 1 % kaikista kasvihuonekaasupäästöistä. (Pöyry 2019.)



**Kuva 2.** Kokonaistulokset kasvihuonekaasupäästöistä maakaasun elinkaaren aikana (Pöyry 2019).

Maakaasulla on myös suoria ja epäsuoria vaikutuksia luonnon monimuotoisuuteen. Maakaasukenttien rakentaminen aiheuttaa esimerkiksi eri lajien elinympäristöjen tuhoutumisen ja kasvillisuuden heikkenemisen. Kasvillisuuden uudistumiskyky on heikko erityisesti pohjoisilla alueilla lyhyen kasvukauden takia. Pöly- ja meluhaitat, jätteet ja saasteet karkottavat eläimiä pois alueelta, joka heikentää niiden lisääntymismenestystä. (Pöyry 2019.)

Maakaasun tuotannolla on myös vaikutuksia maaperän ja veden laatuun, sillä tuotannon takia maaperää joudutaan poistamaan maakaasun infrastruktuurilaitteiden tieltä. Vaikka metaani onkin vahva kasvihuonekaasu, niin pienissä määrissä se ei ole ympäristölle vaarallinen kemikaali, sillä sitä vapautuu myös luonnollisesti ilmakehään. Metaania voi kuitenkin siirtyä maaperän kautta pohjaveteen, jolloin se voi aiheuttaa muun muassa hapenpuutetta ja juomaveden laadun heikkenemistä. Maaperän laatu voi heikentyä myös orgaanisesti, kun tuotantoalueilta poistetaan pintamaata. Tämä voi johtaa maaperän

hedelmällisyyden heikkenemiseen, jos pintamaata ei sijoiteta takaisin täyttömateriaalin päälle. Maakaasun kuljetus maan alla olevia putkistoja pitkin voi vaikuttaa myös maaperän lämpötilaan, jos putkia ei ole eristetty kunnolla. (Pöyry 2019.)

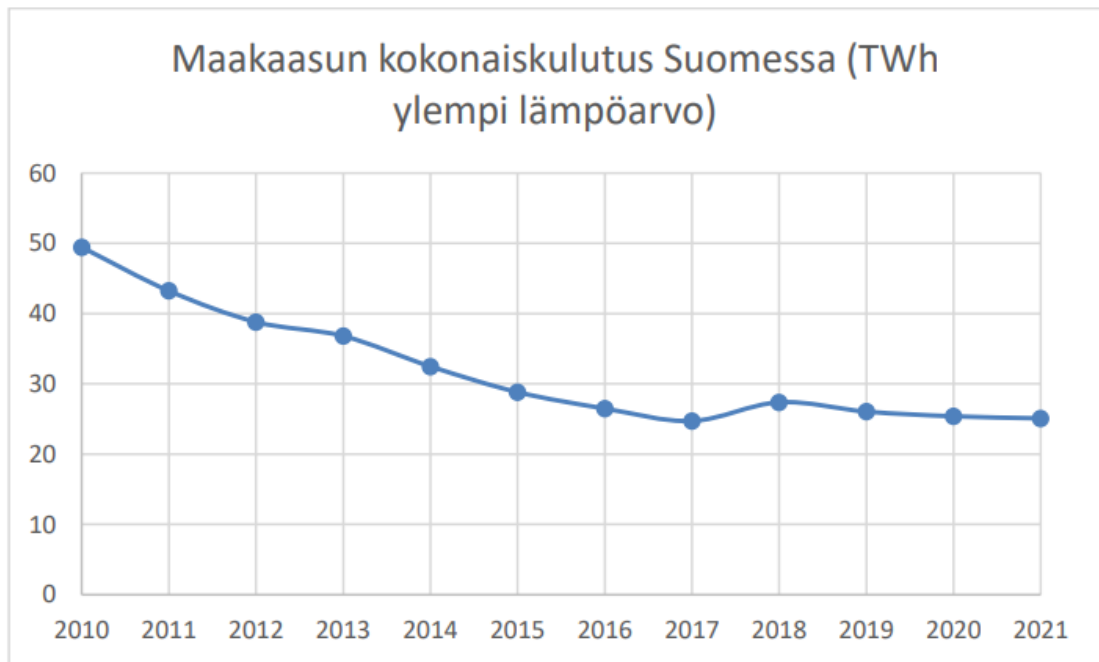
Maakaasun tuotannosta aiheutuu myös jätettä. Syntynyt jäte on enimmäkseen yleistä kotitalousjätettä, jotka johtuvat henkilökunnan päivittäisistä rutineista. Maakaasun kaivuutoiminta aiheuttaa kuitenkin muun muassa porausjätettä, teollisuusjätettä sekä vaarallisia jätteitä, jotka kuljetetaan niille sopivaan jätehuoltolaitokseen. (Pöyry 2019.)

Maakaasun käyttö muun muassa hiilen sijasta on kuitenkin yksi tehokkaimmista ilmastotoimista lyhyellä ja keskipitkällä aikavälillä. Euroopan sähköntuotannossa maakaasun käyttö on kasvanut noin 40 % vuodesta 2014 ja tämän myötä päästöt ovat pienentyneet neljänneksellä. Maakaasun käytön myötä myös tuuli- ja aurinkoenergian saatavuuden heilahtelut eivät vaaranna sähkön toimitusvarmuutta, sillä joustavilla kaasuvoimaloilla voidaan sähköä tuottaa myös kylmillä, tyynillä ja pilvisillä säillä. (Fortum 2023b.)

### 2.3 Maakaasun käyttö Suomen teollisuudessa

Suomessa maakaasu toimii energianlähteenä ensisijaisesti lämmitykseen, sähköntuotantoon ja niiden yhteistuotantoon. Teollisuudessa maakaasua käytetään muun muassa prosessihöyryn tuottamiseen. (Pöyry 2019.) Vuonna 2021 maakaasua käytettiin Suomessa 25 TWh (Gasum 2023a).

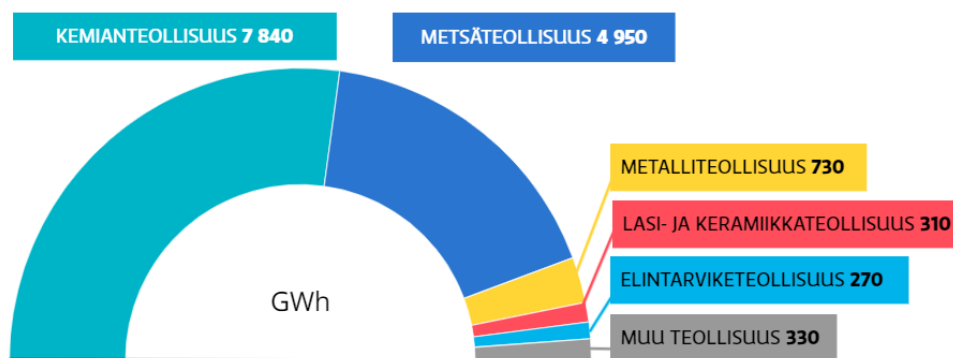
Maakaasun käyttö Suomessa oli huipussaan 2000-luvun alussa, mutta toisin kuin muualla Euroopassa, on Suomessa sen kulutus viimeisen kymmenen vuoden aikana melkein puolittunut. Alla olevassa kuvassa 3 nähdään maakaasun käytön kehittyminen vuosina 2010–2021. Vuoden 2022 tammikuusta lokakuuhun maakaasun käyttö puolittui verrattuna vuoden 2021 vastaavaan ajankohtaan. Suurimpia syitä maakaasun käytön vähenemiselle on esimerkiksi kilpailukyvyn heikkeneminen, veronkorotukset sekä maakaasun korvaaminen muilla polttoaineilla sähköntuotannossa. (Energiavirasto 2022.)



**Kuva 3.** Maakaasun kulutus Suomessa vuosina 2010–2021 (Energiavirasto 2022).

Maakaasua käytetään eniten metsä- ja kemianteollisuuden yrityksissä, joissa maakaasun käyttö on reilu 12 TWh. Teollisuus yhteensä käyttää maakaasua hieman yli 14 TWh. (Juusola 2022.) Metsäteollisuuden yrityksissä maakaasua käytetään esimerkiksi paperin kuivaukseen ja energian tuotantoon. Metallinjalostuksessa maakaasua käytetään puolestaan prosessin eri vaiheissa. (Suomen kaasuyhdistys n.d.) Alla olevassa kuvassa 4 on eriteltyä maakaasua käyttävät teollisuuden alat Suomessa vuonna 2019.

### Maakaasun käyttö teollisuusaloittain vuonna 2019



**Kuva 4.** Maakaasun käyttö Suomessa teollisuusaloittain vuonna 2019 (Juusola 2022).

### 3 Maakaasun korvaaminen

Vuoteen 2050 mennessä Euroopan Unionin tavoitteena on olla hiilineutraali. Tämän hiilineutraaliustavoitteen niin kutsuttuna välietappina EU on laatinut ilmastotavoitteen, jota kutsutaan nimellä 55-valmiuspaketti. 55-valmiuspaketin mukaan EU:n alueella aiheutuvia päästöjä on vuoteen 2030 mennessä vähennettävä vähintään 55 % verrattuna vuoden 1990 tasoon. (Eurooppa-neuvosto 2023a.) Tämä tavoite heijastuu suoraan myös siihen, että venäläisen maakaasun käytöstä Suomessa olisi tultu luopumaan ilman Venäjään kohdistuvia pakotteita.

Venäjän Ukrainaan kohdistaman hyökkäyksen ja energiakriisin myötä EU:n on kiihdytettävä siirtymistään puhtaaseen energiaan ja lisättävä omavaraisuuttaan. Tämän takia Euroopan komissio on laatinut suunnitelman, jonka avulla Euroopan riippuvuus Venäjän fossiilisista polttoaineista pyritään lopettamaan jo paljon ennen vuotta 2030. Suunnitelma kantaa nimeä REPowerEU ja se hyödyntää useita toimenpiteitä 55-valmiuspakettisuunnitelmasta ja edistää myös vihreää siirtymää. (Euroopan komissio 2023.)

Toimenpiteet, joilla maakaasu voidaan korvata Suomessa sekä muualla maailmassa ovat muun muassa LNG-kaasun käyttö, vedyn hyödyntäminen, biokaasun käytön lisääminen, synteettisen metaanin valmistus, uusiutuvien energialähteiden kehittäminen ja energiatehokkuuden parantaminen. Näitä energiamuotoja käsitellään alla olevissa kappaleissa.

#### 3.1 LNG-kaasun käyttö

LNG-kaasu eli nesteytetty maakaasu syntyy, kun maakaasu nesteytetään -162 asteiseksi. Nesteytyksellä saadaan pienennettyä kaasun tilavuutta 600-kertaisesti, mikä helpottaa kaasun varastointia ja mahdollistaa sen kuljetuksen kohteisiin, jotka eivät sijaitse kaasuverkon alueella. Nesteytetyn maakaasun käyttö on myös ympäristöystävällinen vaihtoehto siinä mielessä, että se ei tuota lainkaan rikkioksidipäästöjä ja se täyttää myös tiukimmat päästörajoitukset hiilidioksidi-, hiukkas- ja typenoksidipäästöjen suhteen. (Gasum 2023b.)

Suomi on yhdessä Viron kanssa vuokrannut LNG-terminaalilaivan kymmeneksi vuodeksi, joka varastoi nestemäistä maakaasua. LNG-terminaalilaivan tarkoituksena on korvata Venäjältä tuleva maakaasu ja turvata Suomen kaasunsaanti. (Mattila 2022.) Terminaalilaiva ankkuroitui Inkoon satamaan loppuvuodesta 2022 ja siinä nesteytetty maakaasu höyrytetään uudelleen kaasuksi, joka syötetään sitten kaasuverkkoon (Väisänen 2022). Terminaalin vuosittainen kapasiteetti höyrytettyä nestekaasua kaasuksi on 40 TWh riittäen helposti kattamaan koko Suomen kaasutarpeen (Hiilamo 2022).

Inkoon terminaalialus on Suomen ensimmäinen kelluva LNG-terminaali. Pienemmät LNG-terminaalit sijaitsevat Torniossa, Porissa ja Haminassa. (Hiilamo 2022.) Tornion LNG-tuontiterminaali on Pohjoismaiden suurin ja sen pohjoinen sijainti mahdollistaa LNG:n jakelun myös Ruotsiin ja Norjaan. Terminaalin varastosäiliö kattaa 50 000 kuutiometrin säilytystilan. (Manga Lng 2021.) Porissa sijaitseva nesteytetyn maakaasun terminaali on ensimmäinen käyttöön otettu LNG-terminaali Suomessa. Sen varastointikapasiteetti on 28 500 kuutiometriä. (Gasum 2023c.) Uusin LNG-terminaali sijaitsee Haminan satamassa ja se on ainoa kansalliseen kaasuverkkoon liitettävä LNG-terminaali Suomessa. Haminan LNG-terminaalin kapasiteetti on 30 000 kuutiometriä. (Hamina LNG 2023.)

### 3.2 Vedyn hyödyntäminen

Yksi potentiaalisimmista vaihtoehtoista maakaasun korvaamiseksi on siirtyä käyttämään vetyä. Sen käytöllä voidaan arvioiden mukaan korvata noin 37 miljardia kuutiometriä maakaasua Euroopassa (Tervanen 2023.) Vetyä voidaan käyttää hyödyksi esimerkiksi kemianteollisuudessa, raskaassa liikenteessä, lämmityksessä ja teräksen valmistuksessa, sillä näissä kohteissa fossiilisista polttoaineista tulisi päästä eroon. Vetykaasun tuotanto vaatii runsaasti sähköenergiaa, mutta vedyntuotantojärjestelmä on varastojensa ansiosta joustavampi kuin muut energialähteet. Tämä tarkoittaa, että vedyntuotanto voi kuluttaa sähköä joustavasti silloin, kun sähköstä ei ole pulaa, mikä puolestaan helpottaa aurinko- ja tuulienergian lisärakentamista. (Fortum 2023b.) Euroopassa vedyn jakeluun on useita vaihtoehtoja, joista kustannustehokkain on putkisiirto. Vety voidaan siirtää olemassa olevan kaasuverkon kautta tietyin edellytyksin, mutta uuden vetyverkon rakentaminen voi olla tarpeen täydentämään nykyistä infrastruktuuria. (Suomen kaasuyhdistys 2022.)

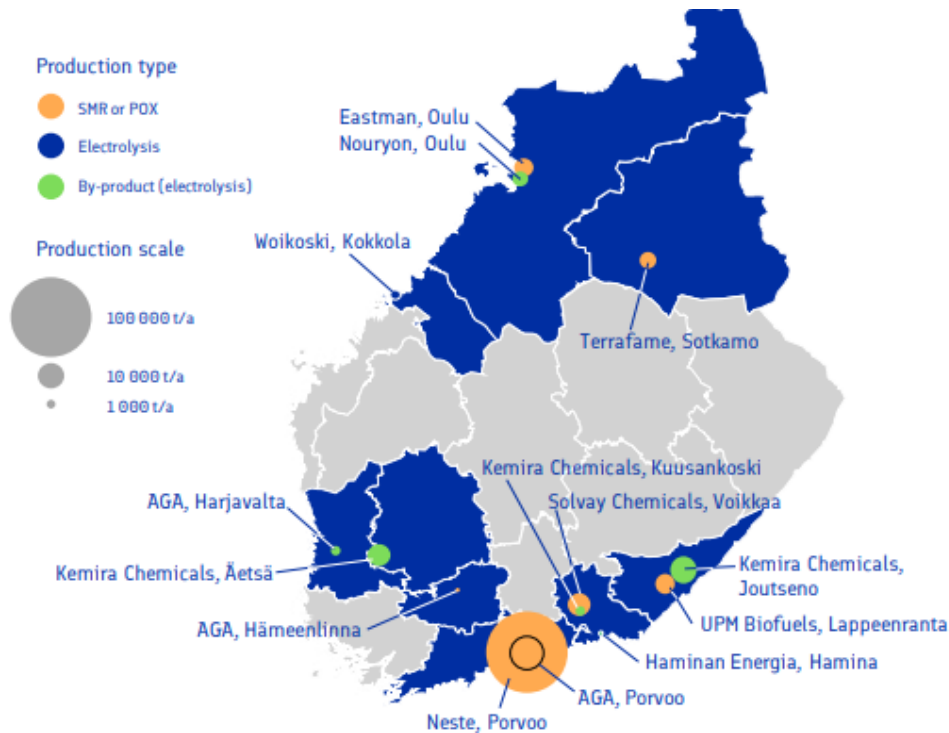
Kehitteillä olevan hiilineutraalin eli vihreän vedyn tuotanto perustuu elektrolyysiin, joka jakaa veden vedyksi ja hapeksi. Tämä tapahtuu käyttäen fossiilivapaista lähteistä saatavaa sähköä, mikä on huomattava edistysaskel verrattuna nykyiseen harmaan vedyn tuotantotapaan. Tämänhetkinen harmaan vedyn tuotantotapa on maakaasun höyryreformointi, mikä aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä ilmakehään. (Vattenfall 2023.) Harmaan ja vihreän vedyn lisäksi on olemassa myös turkoosia, sinistä ja pinkkiä vetyä. Vedyn eri värit ovat esiteltyinä alla olevassa kuvassa 5.



**Kuva 5.** Vedyn eri värit (Kiero 2023).

Vuonna 2020 Suomessa tuotettiin vetyä teollisuuden tarpeisiin noin 145 000 tonnia eli 5 TWh, mikä vastaa 1,5 % Euroopassa tuotetusta vedystä. Vetyä syntyy myös sivutuotteena teollisuuden prosesseista ja vuonna 2020 vetyä syntyi sivutuotteena noin 23 000 tonnia eli 765 GWh. (Valtioneuvosto 2022a.) Siirtymä hiilineutraaliin vetytalouteen on vasta alkuvaiheessa, mutta Suomi tavoittelee johtoasemaa Euroopan vetytaloudessa ja vuoteen 2030 mennessä Suomi on kykeneväinen tuottamaan 10 % EU:n päästöttömästä eli vihreästä vedystä. (Valtioneuvosto 2023.)

Alla oleva kuva 6 näyttää vedyn tuotantopaikat ja niiden vuotuiset tuotantomäärät Suomessa. Kuvasta voidaan huomata, että tuotantopaikat sijoittuvat pääasiassa Etelä- ja Kaakkois-Suomen alueelle ja suurin vedyn tuottaja on Neste Oyj:n jalostamo Porvoossa.



**Kuva 6.** Vedyn tuotanto- ja käyttöpaikat Suomessa (Laurikko et al. 2020).

Ensimmäisenä suomalaisena yrityksenä Neste sai kesällä 2022 Euroopan komission hyväksymän IPCEI-statusen vetyprojekteilleen. IPCEI-status mahdollistaa julkisen rahoituksen vihreän vedyn hankkeelle Nesteen Porvoon jalostamolla. Euroopan komissio hyväksyi IPCEI-hankestatuksen 35 yritykselle Euroopan Unionin jäsenvaltioissa ja tämän hankkeen tarkoituksena on tuottaa 10 miljoonaa tonnia hiilineutraalia vetyä vuoteen 2030 mennessä EU-alueella. (Neste 2022.)

### 3.3 Biokaasun käytön lisääminen

Maakaasu ja biokaasu eroavat toisistaan syntymistavan ja elinkaaren aikana aiheutuneiden päästöjen osalta (Gasum 2023d). Biokaasu syntyy eloperäisen aineksen anaerobisessa hajoamisessa ja se koostuu suurimmaksi osaksi hiilidioksidista ja metaanista, mutta voi

sisältää myös pieniä määriä typpeä, happea, vetyä, vettä, rikkivetyä ja ammoniakkia (Motiva 2020).

Biokaasun koostumus riippuu mädätysprosessista ja mädätettävästä biomassasta. Biokaasua valmistetaan biokaasureaktorissa käyttäen raaka-aineena biomassaa kuten lantaa, lietettä ja jätteitä. Lisäksi kaatopaikoilta kerätään kaatopaikkakaasua, joka syntyy jätteiden hajotessa. Biokaasun käyttökohteita ovat lämmön ja sähkön tuotanto sekä sitä käytetään myös ajoneuvojen polttoaineena. (Motiva 2020.)

Euroopan komission laatiman REPowerEU-suunnitelman arvioinnin mukaan Euroopan Unionissa voidaan korvata noin 35 miljardia kuutiometriä Venäjältä tuotavan maakaasun määrästä lisäämällä biokaasun tuotantoa (Euroopan komissio 2022a.) Biokaasun tuotannon lisääminen myös vahvistaa Suomen energiaomavaraisuutta, sillä biokaasu on kotimaista energiaa.

Arvioiden mukaan vuoteen 2030 mennessä biokaasua pystyttäisiin vuosittain tuottamaan Suomessa noin 4–7 TWh (Suomen biokierto & biokaasu ry 2020). Tämä tarkoittaisi 5–8,75 kertaista nousua vuoden 2021 biokaasun tuotantoon verrattuna, joka oli noin 0,8 TWh (Tilastokeskus 2021b). Biokaasu ja maakaasu kulkevat samassa putkistossa, jonka vuoksi biokaasua voidaan jakaa kustannus- ja energiatehokkaasti hyödyntämällä jo olemassa olevaa kaasuverkostoa (Gasum 2023d). Vuonna 2021 biokaasua syötettiin siirtoverkkoon noin 0,5 TWh edestä (Energiavirasto 2022).

Maataloudesta peräisin olevat biomassat kuten lanta ja nurmi ovat merkittävä potentiaalinen energianlähde, jota hyödynnetään tällä hetkellä toistaiseksi vain vähän biokaasuntuotannossa Suomessa. On arvioitu, että vuonna 2030 pelkästään lannasta saatavalla lantabiokaasulla voitaisiin tuottaa vuosittain 1,75 TWh energiaa. Nurmen ja lannan yhteiskäsittelyssä saataisiin kuitenkin vielä huomattavasti suurempi energiantuotantopotentiaali. (Maa- ja metsätalousministeriö n.d a.)

### 3.4 Synteettisen metaanin valmistus

Synteettinen metaani on päästötön polttoaine, joka on kemiallisesti identtinen maakaasun kanssa. Sen tuotanto vaatii talteen otetun hiilidioksidin ja vihreän vedyn lisäksi reaktorin, joka yhdistää nämä raaka-aineet tehokkaasti metaaniksi. Hiilidioksidi kyetään ottamaan

talteen monista erilaisista lähteistä. Reaktoriin voidaan yksinkertaisimmillaan ajaa konsentroituneita hiilidioksidivirtoja, jotka sisältävät korkean pitoisuuden hiilidioksidia suhteessa muihin kaasuihin. Nämä virrat syntyvät esimerkiksi bioetanolilaitoksilla, panimoilla tai biokaasulaitoksilla. Lisäksi reaktoriin voidaan syöttää raakakaasua, jota syntyy biokaasulaitoksilla tai kaatopaikoilla. Toisena raaka-aineena käytettävä vihreä vety valmistetaan uusiutuvaa sähköä hyödyntämällä elektrolyysillä. Synteettistä metaania voidaan käyttää suoraan maakaasun korvaajana energiajärjestelmässä. (Q Power 2020.) Synteettisen metaanin potentiaali korvata maakaasu on noin 25 % (Navigant 2019).

Tulevaisuuden energiajärjestelmässä synteettinen metaani on tärkeä energiavarasto ja sähköverkon kapasiteetin varmistaja. Kun vaihtelevaa tuuli- ja aurinkosähköntuotantoa lisätään, tarvitaan energiavarastoja ja kapasiteettireservejä, jotka pystyvät vastaamaan sähkönkysynnän huippuhetkiin silloinkin, kun tuotanto ei vastaa tarvetta. Synteettinen metaani voidaan helposti varastoida kaasuverkkoon, josta se tarvittaessa pystytään ottamaan käyttöön generaattorin tai polttokennon avulla. Tämä mahdollistaa sähköntuottajille kaasumarkkinoilla vakaan takuuhinnan myös haastavissa kysyntäolosuhteissa. (Q Power 2020.)

Vantaan Energia on rakentamassa yhteistyössä Wärtsilän kanssa hiilineutraalia synteettisen metaanin tuotantolaitosta Suomeen, joka on suunniteltu käyttöönotettavaksi vuonna 2025. Kyseinen Power-to-Gas-laitos olisi Suomen suurin ja ensimmäinen, joka tuottaisi 10 MW teholla synteettistä metaania. Tämä kattaa noin 200 kuorma-auton polttoainetarpeen ja korvaa kaukolämmön tuotannossa maakaasun suurimpien lämmityshuippujen aikaan. (Erkkilä 2021.) Laitoksessa tuulivoimalla tuotettua sähköä käyttämällä hajotettaisiin vesi vedyksi ja hapeksi, jonka avulla synteettistä metaania voidaan valmistaa. Vetyä yhdistettäisiin metanointiprosessissa hiilidioksidin kanssa, joka on talteen otettu Vantaan Energian jätevoimalan savukaasuista. (Kukkonen 2021.)

### 3.5 Uusiutuvien energialähteiden kehittäminen

REPowerEU:n yksi tärkeimpiä tavoitteita on uusiutuvan energian käyttöönoton nopeuttaminen. Uusiutuvan energian tuotanto tulee vähentämään maakaasun käyttöä monilla osa-alueilla aina asuin- ja liikenne rakennuksista teollisuuteen ja muihin sektoreihin,

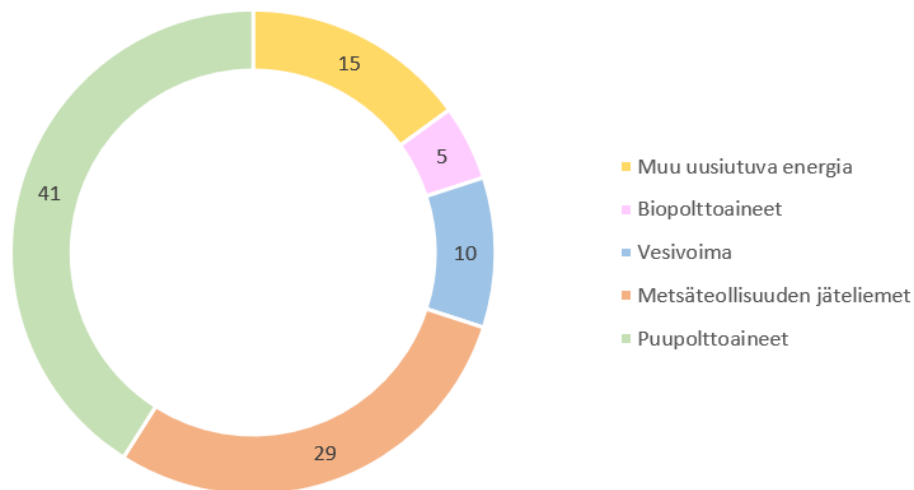
jotka ovat vaikeita sähköistää. (Euroopan komissio 2022b.) Tuuli- ja aurinkovoimakapasiteettiä lisäämällä Venäjältä tuodusta maakaasusta voitaisiin Euroopassa korvata noin 20 miljardia kuutiometriä (Tervanen 2023).

Uusiutuvat energialähteet ovat energialähteitä, joita voidaan hyödyntää ilman, että niiden käyttö johtaa niiden loppumiseen. Tällaisia energialähteitä ovat puupolttoaineet, muut kasvi- ja eläinperäiset polttoaineet, biokaasu, kierrätys- ja jätepolttoaineiden biohajoava osuus, tuuli- ja vesivoima, maalämpö ja aurinkoenergia. (Maa- ja metsätalousministeriö n.d b.) Suomessa merkittävimmät uusiutuvat energialähteet ovat bioenergia, erityisesti metsäteollisuuden sivuvirroista saadut ja muut puupohjaiset polttoaineet, maalämpö, vesivoima sekä tuulivoima (Työ- ja elinkeinoministeriö n.d).

Euroopan Unioni on asettanut Suomelle tavoitteen saavuttaa 38 % käyttö uusiutuville energialähteille. Suomessa uusiutuvan energian loppukulutus vuonna 2020 oli 44,6 %, joka ylittää EU:n tavoitteet uusiutuvan energian käytölle 6,6 prosenttiyksiköllä. Suomi kuitenkin on myynyt osan uusiutuvasta energiasta Belgialle, mutta siirron jälkeenkin loppukulutus oli korkea, 43,9 %. (Valtioneuvosto 2022b.)

Suomi valmistele moninkertaisesti enemmän uutta tuulivoimakapasiteettia kuin mitä maa tällä hetkellä tarvitsee. Tämä yhdessä vakaan ja ennustettavan toimintaympäristön kanssa tekee Suomesta kiinnostavan investointikohteen EU:n kaavailemalle suurelle vihreän vedyn tuonnille Euroopan ulkopuolelta. (Valtioneuvosto 2023.)

Vuonna 2021 uusiutuvan energian kokonaiskäyttö oli 159 TWh, josta metsäteollisuus muodosti 112 TWh eli noin 70 %. Tähän kuului teollisuuden ja energiantuotannon puunkäyttö, joka muodosti 30,5 %, pienpuun käytön osuus oli 10,9 % ja metsäteollisuuden jäteliemien osuus taas 29 %. Vesivoiman osuus uusiutuvasta energiasta oli 5,8 % ja tuulivoiman osuus 5,1 %. Lisäksi liikenteessä käytettiin 5,4 % uusiutuvan energian biopolttoaineita, kierrätyspolttoaineiden bio-osuus oli 2,2 % ja muun bioenergian osuus oli yksi prosentti. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2023.) Alla olevassa kuvassa 7 on vielä esitetty uusiutuvan energian jakautuminen Suomessa vuonna 2021.



**Kuva 7.** Uusiutuvan energian käytön jakautuminen prosentteina vuonna 2021 (Työ- ja elinkeinoministeriö 2023).

### 3.6 Energian säästäminen ja energiatehokkuuden parantaminen

Energiansäästö on edullisin, turvallisin ja puhtain tapa vähentää riippuvuutta Venäjän fossiilisten polttoaineiden tuonnista. Energiankulutuksen vähentämiseen pystyvät osallistumaan niin kuluttajat, yrittäjät kuin isot teollisuudenalat. Lyhyellä aikavälillä energiansäästötoimet voivat säästää tuontikaasua noin 13 miljardia kuutiometriä. (Euroopan komissio 2023.) Keskipitkän aikavälin toimissa vuoden 2030 energiansäästöjen tavoitetasoa nostetaan 9 prosentista 13 prosenttiin (Eurooppa neuvosto 2023.)

REPowerEU-suunnitelmassa rakennusten energiatehokkuuden parantaminen on yksi suurimpia osa-alueita, koska iso osa eurooppalaisista rakennuksista lämmitetään maakaasulla. Energiatehokkuuden parantaminen voisi vähentää riippuvuutta venäläisestä maakaasusta noin 35 miljardia kuutiometriä. (Euroopan komissio 2023.) Vuoteen 2030 mennessä EU:ssa pyritään saamaan kaikista rakennuksista energiatehokkaampia esimerkiksi lämpöpumppujen hankinnan tukemisella. Tavoitteena on myös, että uudet rakennukset olisivat päästöttömiä vuoteen 2030 mennessä ja vuoteen 2050 mennessä jo olemassa olevat rakennukset muutettaisiin päästöttömiksi. (Eurooppa neuvosto 2023.)

## 4 Maakaasun korvaamisen haasteet

Haasteet, jotka uudet teknologiat ja innovaatiot tuovat mukanaan on ratkaistava kestävän energian saavuttamiseksi ja siirtymä kohti kestävämpää energiajärjestelmää on välttämätön ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. Vaikka Eurooppa ei sortunut energiakriisin aikana, liittyvät suurimmat haasteet silti vielä tulevaisuudessakin kaasun riittävyyteen. Energiakriisi ei myöskään hidastanut vihreää siirtymää vuonna 2022 ja kasvihuonekaasupäästökin vähenivät 2,5 prosenttia. (Huttunen 2023.)

### 4.1 LNG-kaasun käytön haasteet

Vaikka LNG-kaasulla on monia etuja kuten alhaisemmat hiilidioksidipäästöt muihin fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna sekä edullinen hinta, niin sen käyttöön liittyy myös haasteita esimerkiksi varastoinnin, infrastruktuurin, turvallisuuden ja ympäristövaikutuksien osalta. Koska LNG on nestemäisessä olomuodossa ja todella kylmää, niin sen varastointi vaatii erityisiä säiliöitä, jotta lämpötila pysyy matalana. LNG:n lämmitessä se muuttuu höyryksi, mikä lisää tulipaloriskiä. (Kaipainen 2020.)

Vapaan LNG-kapasiteetin määrä maailmassa on tällä hetkellä hyvin rajallinen, mutta uuden LNG-infrastruktuurin rakentaminen on mahdollista. Sen edellytyksenä kuitenkin on, että kaasun ostajat sitoutuvat pitkäaikaisiin toimitussopimuksiin, jotta investoinnit ovat kannattavia. (Taskinen 2022.) Nesteytettyä maakaasua ei voida sellaisenaan käyttää teollisuuden tarpeisiin, joten LNG:n käsittelemiseen tarvittavat järjestelmät ovat suhteellisen kalliita (Lammi 2015).

LNG:n tuonti Yhdysvalloista Eurooppaan on lisääntynyt valtavasti vallitsevan maailmantilanteen johdosta. Tämä on aiheuttanut huolta Euroopassa, sillä Yhdysvalloista tuotavalla LNG:llä on enemmän ympäristöhaittoja kuin venäläisellä LNG-kaasulla. Amerikkalainen LNG tuotetaan teknologialla, joka on laajalti kielletty Euroopan Unionissa ympäristövaikutustensa takia. Amerikkalaiskaasu on myös energiaintensiivisempää verrattuna Venäjältä tuotavaan putkikaasuun, sillä se on jäähdytettävä ja paineistettava ennen sen kuljettamista Atlantin yli. (Kortelainen 2022.) Yhdysvaltojen ympäristönsuojeluvirasto EPA on vuonna 2016 todennut, että metaanipäästöt öljy- ja kaasualan olemassa olevista lähteistä ovat ”huomattavasti korkeammat kuin aiemmin

ymmärrettiin”. USA:n liuskeöljy- ja kaasulähteistä peräisin olevien metaanipäästöjen osuus voi olla jopa 12 % koko elinkaaren aikana. Tämä tarkoittaa, että jos metaanipäästöt ovat yli 1,6–1,9 %, niin LNG:n tuottaminen aiheuttaisi suuremman hiilijalanjäljen kuin hiilivoimaloiden käyttäminen 20 vuoden aikana. (WWF 2021.)

## 4.2 Vedyn käytön haasteet

Vetytalouteen siirtymisen tavoitteena on saavuttaa ympäristöystävällinen energiantuotanto yhdessä muiden uusiutuvien energialähteiden kanssa. Suurin osa käytetystä vedystä on niin sanottua harmaata vetyä, joka valmistetaan fossiilisista polttoaineista kuten maakaasusta. Harmaan vedyntuotannon saastuttavuus johtaa käytännössä siihen, että sen käyttö polttoaineena ei pysty täyttämään ympäristötavoitteita, mikä mitätöi sen puhtaan käytön mahdolliset edut. Ympäristöystävällisen vihreän vedyn tuotanto on vielä alkuvaiheessa ja sen tuotanto on kallista. Vihreän vedyn tuotanto vaatii esimerkiksi uusien aurinko- ja tuulivoiman sekä elektrolyysikapasiteetin kasvua, sillä elektrolyysissä tarvittava sähkö tulee uusiutuvista energialähteistä. (Aikivuori 2022.) Tuotannon haasteena on myös se, että noin kolmannes käytetystä sähköstä menee hukkaan lämpönä (Vartiainen 2020).

Vedyn kuljetuksessa syntyvät haasteet liittyvät infrastruktuurin puutteeseen. Vetyä voidaan siirtää kustannustehokkaimmin putkessa joko puhtaana tai sekoitettuna esimerkiksi maakaasuun. Vedyn kuljetukseen liittyy useita ongelmia kuten erittäin helppo syttyvyys ja materiaalien läpäisykyky, joka aiheuttaa moninkertaisen määrän vuotoja verrattuna maakaasuun. (Afy 2022.)

Vedyn kemiallisesta luonteesta johtuen suurimmat haasteet siirron ohella liittyvät vedyn varastointiin. Lupaavimpia varastointipaikkoja ovat maanalaiset suolaesiintymät ja tällä hetkellä ainoastaan kuutta suolaesiintymäluolaa globaalilla tasolla käytetään vedyn varastointiin, mutta tuhansissa luolissa varastoidaan maakaasua. (Vartiainen 2020.) Vedyn kaasumaisen olomuodon varastoiminen edellyttää jopa 700 baarin painetta ja kaasusta nestemäiseen olomuotoon muutettu vety taas vaatii erittäin kylmän,  $-253\text{ °C}$  lämpötilan. Nestemäisen vedyn varastointiin tarvitaan jatkuvaa jäähdyttämistä, jotta vety ei muuttuisi takaisin kaasuksi. Näin kylmän lämpötilan kokoaikainen ylläpito kuluttaa paljon energiaa. (Sillanpää et al. 2022.)

#### 4.3 Biokaasun käytön haasteet

Merkittävimmät haasteet biokaasun käytölle liittyvät biokaasutoiminnan heikkoon kannattavuuteen. Parannusta kannattavuuteen voitaisiin saavuttaa alentamalla investointi- ja maataloussyötekustannuksia samalla, kun parannetaan lopputuotteiden myyntihintaa. Haasteena biokaasun tuotannossa on myös biomassojen kerääminen taloudellisesti kestäväällä tavalla ja riittävän suurina erinä vastaten pitkäaikaisia käyttötarpeita. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2020.)

Biokaasun tuotannon kestävyuden parantaminen edellyttää ravinnekierrätyksen tehostamista. Ravinnekierrätyksen idea perustuu esimerkiksi siihen, että neitseellisiä luonnonvaroja ja lannoitteista aiheutuvia päästöjä voidaan ehkäistä käyttämällä kierrätyslannoitteita mineraalilannoitteiden sijasta. Vaikka kierrätyslannoitteiden käyttö ympäristöystävällisenä vaihtoehtona on kasvussa, niin yksi suurimmista haasteista on kuitenkin toimivien kierrätyslannoitevalmistemarkkinoiden puute. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2020.)

#### 4.4 Synteettisen metaanin haasteet

Synteettisen metaanin valmistuksessa käytettävään hiilidioksidin talteenottoprosessiin liittyy erinäisiä haasteita. Suurin haaste hiilidioksidin talteenotossa on energiankulutuksen vähentäminen, joka muodostaa suuren osan CCS-keijun kustannuksista (Ylén 2021). Haasteita ilmenee myös sopivien varastointiratkaisujen kehittämisessä, sillä varastoinnin on oltava kestävä, ettei hiilidioksidia vapaudu takaisin ilmakehään. Tämän lisäksi on tärkeää, että varastointipaikka on sijoitettu lähelle hiilidioksidin talteenottoa, jottei kuljetuksista aiheudu lisäkustannuksia ja ylimääräisiä päästöjä. (Suokas 2021.)

#### 4.5 Uusiutuvien energialähteiden haasteet

Suomessa käytettäviä uusiutuvia energialähteitä sähkön ja lämmön tuotannossa on tuulivoima, biomassan käyttö, vesivoima ja aurinkosähkö. Suomessa on hyvät resurssit tuulivoiman rakentamiselle ja Itämeren alueella suurin osa potentiaalisista merituulivoimakohteista sijaitsee Suomen aluevesillä. Haasteena tuulivoimakapasiteetin

kasvattamiselle kuitenkin aiheutuu ympäröivään maankäyttöön ja pinta-alaan liittyvistä asioista. Tuulivoimarakentaminen edellyttää myös paikallisen hyväksynnän varmistamista sekä hallinnollisten prosessien sujuvaa hoitamista. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2016.)

Biomassan käytön kasvumahdollisuudet ovat rajalliset, ja niiden painopiste on lähinnä fossiilisten polttoaineiden korvaamisessa sekä pienemmissä lämmönkäyttökohteissa. Biomassapohjaisen yhteistuotannon mahdollisuuksia rajoittaa myös merkittävästi lämpökuormien määrä, erityisesti yhdyskuntien kaukolämpö ja teollisuuden höyry- ja lämpötarpeet. Lauhesähköntuotannossa biomassan käytön haasteena on raaka-aineiden saatavuus ja korkeammat kustannukset. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2016.)

Suomessa vesivoiman kasvattamismahdollisuudet ovat rajalliset ja keskittyvät pääasiassa olemassa olevien laitosten tehon kasvattamiseen, muutamaaan suureen vesivoimahankkeeseen ja pienvesivoiman lisäämiseen. Rakentamaton vesivoimapotentiaali sijaitsee suurimmaksi osaksi suojelluissa vesistöissä, mikä rajoittaa suurvesivoiman lisäämistä. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2016.)

Aurinkosähkön rajoitteena Suomessa on saatavilla oleva pinta-ala aurinkopaneelien asentamiseen, vaikka teoreettinen potentiaali aurinkosähkölle Suomessa on suuri. Käytännössä tämä tarkoittaa, että aurinkopaneeleita asennettaessa on tärkeä huomioida, että käytettävissä on riittävästi sellaista pinta-alaa, jossa aurinkopaneelit tuottavat riittävästi sähköä. Kustannukset ja materiaalirajoitteet tuottavat haasteita aurinkosähköntuotannossa ja uusia varastointitekniikoita tulisi lisätä, sillä Suomessa aurinkosähkön tuotanto painottuu lähinnä kesäkuukausille. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2016.)

#### 4.6 Energian säästämisen ja energiatehokkuuden parantamisen haasteet

Arvioiden mukaan 85–95 % olemassa olevista rakennuksista on vielä vuonna 2050 käytössä. Tämän pohjalta on ilmeistä, että vihreän siirtymän toteuttaminen vaatii muutoksia olemassa olevien rakennusten energianhallinnassa ja -kulutuksessa. Rakennusten energiatehokkuuden parantamisen myötä on tärkeää huomioida, että muutokset eivät aiheuta sisäilman laadun heikkenemistä vaan parantumista energiatehokkuuden lisäämisen ohella. (Vuori 2022.)

Energiatehokkuuden parantamiseen liittyy haasteita rahoitusmahdollisuuksien, rakennusmääräysten sekä korjauksien huonon taloudellisen kannattavuuden myötä.

Tiedonpuutteet mahdollisuuksista omaan rakennukseen ja rakennusten lyhytaikainen käyttö aiheuttaa myös omat haasteensa energiatehokkuuden parantamisessa. (Holopainen 2017.)

Energian säästämisen haasteet liittyvät lähinnä ihmisten tietämättömyyteen ja välinpitämättömyyteen omasta energian kulutuksesta tai pienten säästötekojen myötä aiheutuvista ympäristöteoista. Myös energiansäästötoimet saattavat herättää ennakkoluuloja yhteiskunnassa. (OptiWatti 2019.)

Teollisuudessa energiatehokkuuden parantamisen yhtenä suurimpana haasteena pidetään vanhentunutta teknologiaa. Tuotannon kasvaessa, toimitapojen kehittyessä ja laitteiden päivittyessä, alkuperäiseen tuotantomäärään mitoitettut laitteet jäävät usein liian pieniksi ja kuluttavat näin ollen enemmän energiaa kuin uudempi teknologia. Monet energiatehokkuutta parantavat ratkaisut kuitenkin edellyttävät investointeja, mikä voi olla kallista. (Heikkilä et al. 2008)

## 5 Maakaasun käyttö tulevaisuudessa

Venäläisen putkikaasun tuonti Suomeen loppui keväällä 2022 ja tämän jälkeen maakaasun käyttö Suomessa on puoliintunut. Ennusteena myös on, että kaasujen käyttö ei enää ole Suomessa täysin maakaasukeskeistä, sillä fossiilisten kaasujen käyttö vähenee koko ajan. Tulevaisuudessa teollisuuden yritykset kuten Neste Oyj korvaa maakaasua muun muassa propaanilla ja vihreällä vedyllä. Myös LNG-kaasun käyttö teollisuudessa lisääntyy, vetytalous kehittyy ja hiilidioksidin talteenottotekniikat voivat saada vauhtia energiakriisin takia. Gasumin laskujen mukaan synteettisten kaasujen osuus voisi Suomessa nousta 20 terawattituntiin. Tämä määrä on kuitenkin vielä liian vähäinen fossiilisten polttoaineiden korvaajaksi. (Sallinen 2022.)

Vaikka Suomi ja muu Eurooppa on vähentänyt riippuvuuttaan venäläisestä maakaasusta, se ei kuitenkaan tarkoita, että Suomi tulee lähitulevaisuudessa kokonaan luopumaan maakaasun käytöstä. Kuitenkaan käytettävä maakaasu ei todennäköisesti tule enää olemaan peräisin Venäjältä (Sallinen 2022). Maakaasua tulee edelleen Suomeen Balticconnector-yhdyspisteen kautta, joka yhdistää Suomen ja Baltian maiden väliset kaasumarkkinat. Maakaasulla on vielä keskeinen rooli eurooppalaisessa ja suomalaisessa teollisuudessa, eikä sen käyttö lähivuosina vielä häviä. Kuitenkin vihreän siirtymän, 55-valmiuspaketin sekä REPowerEU-suunnitelman myötä maakaasun ja muiden fossiilisten polttoaineiden käyttö on vähenemään päin. Tavoitteena on korvata fossiilisia polttoaineita uusiutuvilla energianlähteillä ja saavuttaa hiilineutraalius EU-tasolla vuoteen 2050 mennessä ja Suomessa vuoteen 2035 mennessä.

### 5.1 Tulokset

Vaihtoehtoisia energiamuotoja maakaasulle on ollut suunnitteilla jo pitkään ja Euroopan tavoitteena on luopua kokonaan maakaasusta vuoteen 2050 mennessä ja venäläisestä maakaasusta vuoteen 2030 mennessä. Kaasun kulutus Euroopassa vuonna 2021 oli 414 miljardia kuutiometriä (Eurooppa-neuvosto 2023b), josta noin 155 miljardia kuutiometriä tuli Venäjältä (IEA 2022). Alla olevassa taulukossa 1 on koottuna työssä läpikäytyjä vaihtoehtoisia ratkaisuja venäläisen maakaasun käytölle sekä tiivistetysti pohdittu näiden

etuja ja haasteita verrattuna maakaasun käyttöön. Viimeisessä sarakkeessa on kerrottu, kuinka paljon kyseinen energiamuoto pystyy korvaamaan venäläisen maakaasun käyttöä EU-tasolla.

**Taulukko 1.** Eri energiamuotojen vertailu venäläisen maakaasun korvaamiseksi EU-tasolla.

Vaihtoehtoiset energiamuodot maakaasulle	Edut	Haasteet	Arvioiden mukaan potentiaali korvata maakaasu EU-tasolla
LNG-kaasu	Helppo varastoida, käyttö mahdollista myös kaasuverkon ulkopuolella, monikäyttöinen kaasu	Korkeat kustannukset, turvallisuuteen liittyvät riskit, fossiilinen polttoaine	40 miljardia kuutiometriä
Vihreä vety	Ympäristöystävällinen vaihtoehto, laaja käyttöskaala, lisää energiaomavaraisuutta	Kustannukset korkeat, sähköelektrolyysi pienentää hyötysuhdetta, varastointi haasteellista, uuden infrastruktuurin rakentaminen	37 miljardia kuutiometriä
Biokaasu	Voidaan hyödyntää jo olemassa olevaa kaasuverkostoa, alhainen hiilijalanjälki	Hajautettu tuotanto ja pienet laitokset heikentävät taloudellista kannattavuutta, ympäristövaikutukset, jos biomassaa ei hankita kestävästi	35 miljardia kuutiometriä
Synteettinen metaani	Käyttömahdollisuudet samat kuin maakaasulla, päästötön vaihtoehto, jos käytetty energia on uusiutuvaa, hyvä energiavarasto	Jos energiaa tuotetaan fossiilisilla polttoaineilla, se kumoaa ilmastohyödyt, tuotanto vaatii paljon energiaa, talteen otettu hiilidioksidi vaikea varastoida	38 miljardia kuutiometriä
Uusiutuvat energialähteet	Puhdasta energiaa, vähentää riippuvuutta fossiilisesta energiasta, auttaa säilyttämään luonnonvaroja	Vaihteleva saatavuus, vaatii paljon pinta-alaa, kustannukset korkeat	Aurinko- ja tuulivoimakapasiteettia lisäämällä 20 miljardia kuutiometriä
Energian säästäminen ja energia-tehokkuden parantaminen	Energian säästäminen ilmainen ja helpoin ekoteko, energiatehokkaat ratkaisut voivat vähentää energiakustannuksia	Ihmiset mukavuudenhaluisia, vanhat rakennuksen käytössä vielä pitkään, vanhentunut teknologia teollisuudessa	Yhteenlaskettu potentiaali 48 miljardia kuutiometriä

Taulukossa mainituilla toimenpiteillä on mahdollista korvata yli 180 miljardin kuutiometrin edestä venäläistä maakaasua, mikä kattaa koko maakaasun tuonnin Venäjältä. Kuitenkin kaiken Euroopassa käytetyn kaasun korvaamiseksi on vielä jatkettava kehitystyötä ja suunnittelua, jotta Eurooppa saavuttaisi tavoitteensa ja pääsisi maakaasusta kokonaan eroon vuoteen 2050 mennessä.

## 5.2 Vihreä siirtymä

Maakaasun tulevaisuutta määrittelee myös vihreä siirtymä, joka kuvaa muutosta kohti taloutta ja kasvua, jotka ovat ekologisesti kestäviä ja perustuvat kestäväen kehityksen periaatteisiin. Tällainen talous nojaa vähäpäästöisiin energiamuotoihin ja kestäväen resurssien käyttöön, kuten kiertotalouteen ja luonnon monimuotoisuuden edistämiseen. Tavoitteena on luoda kestäväen kehitystä, joka vähentää riippuvuutta fossiilisista polttoaineista ja vähentää ympäristön kuormitusta. (Ympäristöministeriö n.d.) Yllä mainitut vaihtoehdot maakaasulle tukevat vihreäen siirtymäen, sillä vihreäen siirtymäen hankkeita ovat muun muassa energiantuotantolaitokset, jotka tuottavat energiaa uusiutuvalla energialla, vedyn valmistus ja hyödyntäminen sekä hiilidioksidin talteenottokeinot. (ELY-keskus 2023.)

Tulevaisuudessa Suomen energiantuotanto ja teollisuuden energiantarpeet todennäköisesti ovat monimuotoisia ja sisältävät useita energianlähteitä maakaasun sijasta. Jokaisella energiamuodolla on omat hyvät ja huonot puolensa, mutta energiaomavaraisuutta ja vihreäen siirtymäen ajatellen, tulisi Suomen panostaa uusiutuviin energialähteisiin. Tulosten ja aineiston pohjalta tulevaisuudessa vihreäen vedyn käyttö maakaasun korvaajana Suomen teollisuudessa voisi olla potentiaalisin vaihtoehto. Vedyn tuotantoon vaaditaan paljon uusiutuvaa energiaa ja Suomessa on valtavat mahdollisuudet tuulivoiman lisärakentamiselle maantieteellisen sijainnin ansiosta. Vetyä voidaan myös käyttää eri tarkoituksiin, kuten liikenteen, teollisuuden sekä sähköntuotannon tarpeisiin. Vihreä vety on myös ympäristöystävällinen vaihtoehto ja voisi yhtenä työkaluna auttaa Suomea saavuttamaan hiilineutraaliustavoitteen vuoteen 2035 mennessä sekä edistää vihreäen siirtymäen. Vety toimii myös hyvänä energiavarastona ja sitä voi käyttää joustavasti silloin, kun sääolosuhteet eivät ole ihanteelliset uusiutuvan energian tuotannolle.

Vihreää siirtymää ja tulevaisuuden hiilineutraaliustavoitteita ajatellen LNG-kaasun käyttö Suomessa ei ole niin kannattavaa. Vaikka se onkin ympäristöystävällisempi vaihtoehto kuin muut fossiiliset polttoaineet, niin aiheuttaa se silti fossiilisenä polttoaineena haitallisia päästöjä ilmakehään. LNG-kaasun käyttö ei myöskään paranna Suomen energiaomavaraisuutta. Tällä hetkellä LNG-kaasun käyttö Suomessa on helpoin vaihtoehto korvata venäläinen maakaasu, mutta pitkällä tähtäimellä LNG-kaasu ei kuitenkaan ole ympäristöä ajatellen soveltuvin.

## 6 Johtopäätökset

Työn tavoitteena oli tutkia maakaasun tulevaisuutta Suomen teollisuudessa ja tarkoituksena oli pohtia korvaavia energiamuotoja itätuotetulle maakaasulle sekä selvittää niiden haasteita. Työssä läpikäytyt korvaavat energiamuodot ovat Suomen lisäksi käytössä myös muualla Euroopassa, joten työssä käytiin läpi myös maakaasun korvaamista Euroopan tasolla. Työ rajattiin ympäristönäkökulmaan, joten työssä pohdittiin myös maakaasun ympäristövaikutuksia sekä korvaavien energiamuotojen vaikutuksia ympäristöön ja ilmastotavoitteisiin.

Työssä tehty tutkimus vastasi sille asetettuihin tavoitteisiin ja tutkimuksen perusteella havaittiin, että Suomi sekä muu Eurooppa on lisännyt monipuolisesti maakaasua korvaavien energiamuotojen käyttöä. Suomessa on esimerkiksi kasvatettu uusiutuvan energian tuotantoa kuten tuulivoimaa ja aurinkovoimaa sekä pyritty kehittämään energiatehokkuutta eri sektoreilla. Myös ympäristöystävällisen vihreän vedyn sekä synteettisen metaanin valmistus on jo suunnitteluvaiheissa ja näiden tuotanto todennäköisesti tulevaisuudessa kasvaa ja yleistyy. Lisäksi Suomi on yhdessä Viron kanssa vuokrannut LNG-terminaalilaivan, joka kattaa tällä hetkellä kirkkaasti koko Suomen maakaasun tarpeen.

Tutkimuksen rajoitteena on se, että energiamarkkinoiden tulevaisuuden ennustaminen on aina haastavaa. Epävarmuustekijöitä on paljon, sillä energiamarkkinat ovat riippuvaisia monista eri tekijöistä kuten energialähteiden saatavuudesta, resursseista sekä hinnan kehityksestä. Maakaasua korvaavien energiamuotojen tarkempi tutkimus ja niiden käytön lisääminen Suomen teollisuudessa voisi olla mahdollinen jatkotutkimus aiheeseen liittyen, sillä tarkempi tutkimus auttaisi ymmärtämään, miten eri energiamuodot sopivat eri teollisuudenaloille maakaasun korvaajana.

## 7 Yhteenveto

Tässä kandidaatintyössä selvitettiin maakaasun tulevaisuutta Suomen teollisuudessa ja korvaavien energiamuotojen haasteita. Työ toteutettiin kirjallisuuskatsauksena ja työn merkittävimpiä tuloksia on esitelty taulukkomuodossa luvussa 5. Taulukossa pohdittiin EU-tasolla venäläistä maakaasua korvaavien energiamuotojen etuja ja haasteita sekä niiden potentiaalia korvata venäläinen maakaasu. Työssä tarkasteltiin LNG-kaasua, vihreää vetyä, biokaasua, synteettistä metaania, uusiutuvia energialähteitä sekä energian säästämistä ja energiatehokkuuden parantamista maakaasun korvaajina.

Maakaasu on ollut tärkeä energianlähde Suomen teollisuudessa ja sen käyttö ei lähitulevaisuudessa vielä häviä kokonaan. Maakaasun käyttö teollisuudessa on monipuolista ja sitä käytetään pääasiassa sähkön ja lämmön tuotannossa, prosessiteollisuudessa, raskaassa liikenteessä sekä merenkulussa. Vaikka maakaasu on fossiilinen polttoaine, niin se on silti muista fossiilisista polttoaineista ympäristöystävällisin vaihtoehto muun muassa sen vähäisten hiilidioksidipäästöjen takia.

Venäjän ja Suomen väliset maakaasun toimitukseen liittyvät sopimuserimielisyydet ovat aiheuttaneet lisääntyvän paineen vaihtoehtoisten energiamuotojen kehittelylle ja harkinnalle lyhyellä aikavälillä. Samalla Venäjän ja Ukrainan välisen sodan ja siitä aiheutuneen energiakriisin myötä EU:n sekä Suomen on kiihdytettävä siirtymistään puhtaaseen energiaan ja lisättävä näin energiaomavaraisuuttaan. Tällä hetkellä tärkein korvaava energiamuoto maakaasulle on nesteytetty maakaasu, mutta tulevaisuudessa muun muassa vihreällä vedyllä, synteettisellä metaanilla, biokaasulla sekä uusiutuvilla energialähteillä on suuri merkitys energiaomavaraisuuden varmistamisessa.

Suomen ja EU:n ilmasto- ja energiapoliittiset tavoitteet asettavat vaatimuksia fossiilisten polttoaineiden käytön vähentämiselle. Maakaasun ja muiden fossiilisten polttoaineiden vähentäminen on yksi keino pienentää kasvihuonekaasupäästöjä ja näin hidastaa ilmastonmuutosta. Maakaasun tulevaisuus Suomen teollisuudessa riippuu siitä, miten hyvin Suomi pystyy saavuttamaan nämä tavoitteet ja korvaamaan fossiilisia polttoaineita uusiutuvilla energialähteillä. Tämä edellyttää teollisuuden siirtymistä vähäpäästöisempiin energialähteisiin ja teknologioihin.

## Lähteet

- Afry. 2022. Vedyn varastointi. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 6.4.2023]. Saatavissa: [https://afry.com/sites/default/files/2022-04/4\\_vetyesitys\\_jsii\\_11.3.2022.pdf](https://afry.com/sites/default/files/2022-04/4_vetyesitys_jsii_11.3.2022.pdf)
- Aikivuori, H. 2022. Vetytalous. Vedyn hyödyntämisen nykytilanne ja kehityssuunta. [Opinnäytetyö]. [Viitattu 6.4.2023]. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/787594/Aikivuori\\_Henrik.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/787594/Aikivuori_Henrik.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- ELY-keskus. 2023. Vihreä siirtymä. [Verkkosivu]. [Viitattu 19.4.2023]. Saatavissa: <https://www.ely-keskus.fi/vihrea-siirtyma>
- Energiavirasto. 2022. Kaasun toimitusvarmuus vuonna 2022. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 17.2.2023]. Saatavissa: <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/13026619/Kaasun+toimitusvarmuus+vuonna+2022.pdf/f440f64c-28d0-6581-1609-89775b660b45/Kaasun+toimitusvarmuus+vuonna+2022.pdf?t=1669885238572>
- Erkkilä, J. 2021. Wärtsilä alkaa tuottaa synteettistä metaania autoilun ja lämmityksen tarpeisiin. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 9.4.2023]. Saatavissa: <https://www.salkunrakentaja.fi/2021/06/wartsila-synteettinen-metaani/>
- Eurooppa-neuvosto. 2023a. 55-valmiuspaketti. [Verkkosivu]. [Viitattu 13.3.2023]. Saatavissa: <https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/#what>
- Eurooppa-neuvosto. 2023b. Infografiikka – Mistä EU:n kaasu tulee? [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 19.4.2023]. Saatavissa: <https://www.consilium.europa.eu/fi/infographics/eu-gas-supply/>
- Euroopan komissio. 2023. REPowerEU-suunnitelma: kohtuuhintaista, varmaa ja kestävää energiaa Euroopalle. [Verkkosivu]. [Viitattu 13.3.2023]. Saatavissa: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowerEU-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe\\_fi](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowerEU-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_fi)
- Euroopan komissio. 2022a. Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, Eurooppa-neuvostolle, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle.

[Verkkajulkaisu]. [Viitattu 21.3.2023]. Saatavissa: [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:fc930f14-d7ae-11ec-a95f-01aa75ed71a1.0007.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:fc930f14-d7ae-11ec-a95f-01aa75ed71a1.0007.02/DOC_1&format=PDF)

Euroopan komissio 2022b. Questions and Answers on the REPowerEU Communication. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 31.3.2023]. Saatavissa: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda\\_22\\_3132](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_22_3132)

Euroopan komissio. 2016. Itäisen Itämeren alueen energiaeristyneisyys päättyy. [Verkkosivu]. [Viitattu 22.2.2023]. Saatavissa: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fi/MEMO\\_16\\_3476](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fi/MEMO_16_3476)

Fortum. 2023a. Mitä maakaasu on? [Verkkosivu]. [Viitattu 30.1.2023]. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/puhtaampi-maailma/miksi-euroopan-polku-puhtaaseen-energiaan-kulkee-kaasun-kautta?vtab=accordion-item-97196>

Fortum. 2023b. Miksi Euroopan polku puhtaaseen energiaan kulkee kaasun kautta? [Verkkosivu]. [Viitattu 15.3.2023]. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/puhtaampi-maailma/miksi-euroopan-polku-puhtaaseen-energiaan-kulkee-kaasun-kautta>

Gasgrid. 2023a. Kaasumarkkinoiden integraatio. [Verkkosivu]. [Viitattu 22.2.2023]. Saatavissa: <https://gasgrid.fi/kaasumarkkinat/kaasumarkkinoiden-integraatio/>

Gasgrid. 2023b. Kaasun siirtoverkosto. [Verkkosivu]. [Viitattu 21.2.2023]. Saatavilla: <https://gasgrid.fi/kaasuverkosto/kaasun-siirtoverkosto/#linkkiasemat>

Gasum. 2023a. Maakaasumarkkina Suomessa. [Verkkosivu]. [Viitattu 30.1.2023]. Saatavissa: <https://www.gasum.com/kaasusta/maakaasu/maakaasumarkkina-suomessa/>

Gasum. 2023b. LNG Pohjoismaissa. [Verkkosivu]. [Viitattu 14.3.2023]. Saatavissa: <https://www.gasum.com/kaasusta/maakaasu/lng/>

Gasum. 2023c. Gasum LNG-terminaali Porissa. [Verkkosivu]. [Viitattu 14.3.2023]. Saatavissa: <https://www.gasum.com/kaasusta/maakaasu/lng-toimitusketju/terminals--liquefaction-plants/gasum-lng-terminaali-pori/>

- Gasum. 2023d. Kysymyksiä ja vastauksia kaasuautoilusta. [Verkkosivu]. [Viitattu 20.3.2023]. Saatavilla: <https://www.gasum.com/yksityisille/valitse-kaasuauto/kysymyksia-kaasuautoilusta/>
- Hamina LNG. 2023. LNG-terminaali. [Verkkosivu]. [Viitattu 14.3.2023]. Saatavissa: <https://www.haminalng.fi/fi/lng-terminaali/>
- Heikkilä, I. Huumo, M. Siitonen, S. Seitsalo P. Hyytiä, H. 2008. Teollisuuden energiatehokkuus. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 6.5.2023]. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38378/SY\\_51\\_2008.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38378/SY_51_2008.pdf?sequence=1)
- Hiilamo, E. 2022. Järkälemäinen kaasulaiva saapui tänään satamaan Inkoossa - tästä kiireellä käynnistyneessä terminaalihankkeessa on kyse. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 14.3.2023]. Saatavissa: <https://yle.fi/a/74-20010314>
- Holopainen, R. 2017. Rakennusten energiatehokkuuden parantamisen hyödyt ja haasteet. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 10.4.2023]. Saatavissa: <https://sykli.fi/wp-content/uploads/2018/04/syklieaamupala-r-holopainen.pdf>
- Huttunen. 2023. Hätätoimet ja markkinat kantoivat yli talven, mutta energiakriisi ei ole kokonaan ohi. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 4.4.2023]. Saatavissa: <https://valtioneuvosto.fi/-/1410877/hatatoimet-ja-markkinat-kantoivat-yli-talven-mutta-energiakriisi-ei-ole-kokonaan-ohi>
- Huttunen. 2022. Merivartiosto otti Suomen lähivesien kaasuputket ja meriliikenteen erityisvalvontaan. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 22.2.2023]. Saatavissa: <https://yle.fi/a/3-12641995>
- Hydrocarbons technology. 2023. Balticconnector transnational pipeline. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 22.2.2023]. Saatavissa: <https://www.hydrocarbons-technology.com/projects/balticconnector-transnational-pipeline/>
- IEA. 2022. How Europe can cut natural gas imports from Russia significantly within a year. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 19.4.2023]. Saatavissa: <https://www.iea.org/news/how-europe-can-cut-natural-gas-imports-from-russia-significantly-within-a-year>

- Juusola, A. 2022. Vientiteollisuus voi joutua vähentämään tuotantoa, jos maakaasu kallistuu entisestään tai jos siitä tulee pula – hinta on jo viisinkertaistunut. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 20.2.2023]. Saatavilla: <https://yle.fi/a/3-12553921>
- Kaipainen, M. 2020. Rantaan nousi kerrostalon kokoinen betonisäiliö, jonka sisällä lämpötila on -162 astetta – näin hurjan muurin LNG vaatii ympärilleen. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 13.4.2023]. Saatavissa: <https://yle.fi/a/3-11510867>
- Kiero. 2023. Vedyn eri värit. [Kuva]. [Viitattu 16.5.2023]. Saatavilla: <https://ilkkapohjalainen.fi/talous/vetytalouden-nakymat-alueellamme>
- Klemola, K. 2013. Maakaasu. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 6.2.2023]. Saatavilla: <http://www.kimmoklemola.fi/2014/maakaasu.pdf>
- Kortelainen, J. 2022. Huoli kaasun ympäristövaikutuksista kasvaa. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 14.4.2023]. Saatavissa: <https://www.energiauutiset.fi/kategoriat/markkinat/huolikaasun-ymparistovaikutuksista-kasvaa.html>
- Kukkonen, L. 2021. Vantaalla puuhataan laitosta, jonka tuottama synteettinen metaani voi korvata maakaasun – noin 50 miljoonan euron hanke nytkähti eteenpäin. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 18.4.2023]. Saatavissa: <https://www.hs.fi/talous/art-2000008054877.html>
- Lammi, A. 2015. Nesteytetyn maakaasun käyttöturvallisuusopas. [Opinnäytetyö]. [Viitattu 13.4.2023]. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/95307/Nesteytetyn%20maakaasun%20kayttoturvallisuusopas.pdf?sequence=1>
- Laurikko. Ihonen. Kiviaho. Himanen. Weiss. Saarinen. Kärki. Hurskainen. 2020. National Hydrogen roadmap for Finland. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2.4.2023]. Saatavissa: [https://www.businessfinland.fi/4abb35/globalassets/finnish-customers/02-build-your-network/bioeconomy--cleantech/alykas-energia/bf\\_national\\_hydrogen\\_roadmap\\_2020.pdf](https://www.businessfinland.fi/4abb35/globalassets/finnish-customers/02-build-your-network/bioeconomy--cleantech/alykas-energia/bf_national_hydrogen_roadmap_2020.pdf)
- Maa- ja metsätalousministeriö. n.d a. Maatalous uusiutuvan energian tuottajana ja käyttäjänä. [Verkkosivu]. [Viitattu 22.3.2023]. Saatavissa: <https://mmm.fi/ruoka-ja-maatalous/biokaasu>

Maa- ja metsätalousministeriö. n.d b. Suomessa uusiutuvasta energiasta suurin osa on bioenergiaa. [Verkkosivu]. [Viitattu 22.3.2023]. Saatavissa: <https://mmm.fi/biotalous/bioenergia>

Manga Lng. 2021. Puhtaampi energia ilman rajoja. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 14.3.2023]. Saatavissa: <https://www.manga-Ing.com/>

Mattila, V. 2022. Energiansäästöä ennen vihreää kaasua. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 14.3.2023]. Saatavissa: <https://www.energiuutiset.fi/kategoriat/markkinat/energiansaastoa-ennen-vihreaa-kaasua.html>

Motiva. 2020. Biokaasu. [Verkkosivu]. [Viitattu 21.3.2023]. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/bioenergia/biokaasu](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/biokaasu)

Navigant. 2019. Gas for climate. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 19.4.2023]. Saatavissa: <https://gasforclimate2050.eu/wp-content/uploads/2020/03/Navigant-Gas-for-Climate-The-optimal-role-for-gas-in-a-net-zero-emissions-energy-system-March-2019.pdf>

Neste. 2022. Neste mukana luomassa EU:n vihreän vedyn arvoketjua – Porvoon jalostamon vetyhankkeille Euroopan komissiolta IPCEI-status. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 15.3.2023]. Saatavissa: <https://www.neste.fi/tiedotteet-ja-uutiset/uusiutuvat-ratkaisut/neste-mukana-luomassa-eun-vihrean-vedyn-arvoketjua-porvoon-jalostamon-vetyhankkeille-euroopan-komissiolta-ipcei-status>

Nuotio, T. 2019. Maakaasuputki Viroon valmistuu etuajassa – Näin rakentajat ratkaisivat risteyskohdan Venäjältä tulevan putken kanssa. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 22.2.2023]. Saatavissa: <https://www.hameensanomat.fi/paikalliset/5250026>

OptiWatti. 2019. Vastuullinen yritys pienentää hiilijalanjälkeään ja säästää energiaa. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 10.4.2023]. Saatavissa: <https://www.optiwatti.fi/vastuullinen-yritys-pienentaa-hiilijalanjalkeaan-ja-saastaa-energiaa/>

Pöyry. 2019. Environmental impacts of natural gas lifecycle from Russia to Finland. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 15.2.2023]. Saatavilla: [https://www.gasum.com/globalassets/pdf-files/vuosiraportointi/green-finance/final\\_gasum\\_environmental-study\\_october2019.pdf](https://www.gasum.com/globalassets/pdf-files/vuosiraportointi/green-finance/final_gasum_environmental-study_october2019.pdf)

- Q Power. 2020. Blogi: synteettinen metaani – miksi, miten ja mitä? [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 9.4.2023]. Saatavissa: <https://qpower.fi/fi/synteettinen-metaani-miksi-miten-mita/>
- Sallinen, P. 2022. Mikä on kaasujen tulevaisuus Suomessa? [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 17.2.2023]. Saatavissa: <https://www.energiauutiset.fi/kategoriat/markkinat/mika-on-kaasujen-tulevaisuus-suomessa.html>
- Sillanpää, E. Heiska, J. 2022. Vedyn haasteet ja mahdollisuudet energiantuotannossa. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 6.4.2023]. Saatavissa: <https://energiaa.vamk.fi/tulevaisuus/vedyn-haasteet-ja-mahdollisuudet-energiantuotannossa/>
- Suokas, J. 2021. Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi. [Kandidaatintyö]. [Viitattu 9.4.2023]. Saatavissa: <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-202103051249.pdf>
- Suomen biokierto & biokaasu ry. 2020. Biokaasun tuotanto ja käyttö Suomessa 2030. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 20.3.2023]. Saatavilla: [https://biokierto.fi/wp-content/uploads/2020/06/Biokaasu2030\\_raportti\\_17062020.pdf](https://biokierto.fi/wp-content/uploads/2020/06/Biokaasu2030_raportti_17062020.pdf)
- Suomen kaasuyhdistys. n.d. Kaasu Suomessa. Teollisuus. [Verkkosivu]. [Viitattu 20.2.2023]. Saatavilla: <https://www.kaasuyhdistys.fi/kaasu-suomessa/kaasun-kaytto/>
- Suomen kaasuyhdistys. 2022. Kaasumarkkinoiden roolista ja kehitysnäkymistä. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 20.3.2023]. Saatavilla: <https://www.kaasuyhdistys.fi/u-17-2022-vp-ja-u-18-2022-vp-valtioneuvoston-kirjelmat-eduskunnalle-komission-ehdotuksista-euroopan-parlamentin-ja-neuvoston-asetukseksi-ja-direktiiviksi-uusiutuvien-kaasujen-maakaasun-ja-vedyn-sisam/>
- Taskinen, O. 2022. Maakaasun rooli Euroopan energiamurroksessa. [Kandidaatintyö]. [Viitattu 13.4.2023]. Saatavissa: <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/164445/kandidaatintyo%20taskinen%20olli.pdf?sequence=3>
- Tervanen, H. 2023. Venäjältä tuotavan maakaasun korvaaminen Euroopassa. [Kandidaatintyö]. [Viitattu 25.4.2023]. Saatavissa: <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/165215/Ven%C3%A4j%C3%A4lt%C3%A4%20tuotavan%20maakaasun%20korvaaminen%20Euroopassa.pdf?sequence=1>

Tilastokeskus. 2021a. Venäjältä tuodun energian osuus 34 % energian kokonaiskulutuksesta vuonna 2021. [Verkkosivu]. [Viitattu 30.1.2023]. Saatavilla: <https://www.stat.fi/julkaisu/cl1xmekvw1pp80buvn1cznxmy>

Tilastokeskus. 2021b. Biokaasun kysyntä kääntyi kasvuun viiden vuoden jälkeen. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 20.3.2023]. Saatavilla: <https://www.stat.fi/julkaisu/cku5etybc1n3x0b0507rdlg21>

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2023. Uusiutuvan energian käyttö kiihtyi, ero fossiiliseen energiaan jo 8 prosenttiyksikköä. [Verkkotiedote]. [Viitattu 31.3.2023]. Saatavissa: <https://tem.fi/-/uusiutuvan-energian-kaytto-kiihtyi-ero-fossiiliseen-energiaan-jo-8-prosenttiyksikkoa>

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2020. Biokaasuohjelmaa valmistelevan työryhmän loppuraportti. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 6.4.2023]. Saatavissa: [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162032/TEM\\_2020\\_3\\_Biokaasuohjelmaa%20valmistelevan%20tyoryhman%20loppur%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162032/TEM_2020_3_Biokaasuohjelmaa%20valmistelevan%20tyoryhman%20loppur%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2016. 100-prosenttisesti uusiutuviin energialähteisiin perustuva energijärjestelmä. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 10.4.2023]. Saatavissa: <https://tem.fi/documents/1410877/3570111/100+prosenttia+uusiutuvaa+tarkastelu.pdf/8e4ee341-77c5-4447-b6ce-1f2686a3daec/100+prosenttia+uusiutuvaa+tarkastelu.pdf.pdf>

Työ- ja elinkeinoministeriö. n.d. Uusiutuva energia Suomessa. [Verkkosivu]. [Viitattu 22.3.2023]. Saatavissa: <https://tem.fi/uusiutuva-energia>

Valtioneuvosto. 2023. Valtioneuvoston periaatepäätös vedystä. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2.4.2023]. Saatavissa: [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164743/VN\\_2023\\_17.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164743/VN_2023_17.pdf?sequence=4&isAllowed=y)

Valtioneuvosto. 2022a. Vetytalous – mahdollisuudet ja rajoitteet. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 15.3.2023]. Saatavissa: [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163901/VNTEAS\\_2022\\_21.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163901/VNTEAS_2022_21.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Valtioneuvosto. 2022b. Uusiutuva energia ohitti fossiilisen energian käytön ja biokaasu liitettiin osaksi jakeluelvoitetta. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 22.3.2023]. Saatavissa:

<https://valtioneuvosto.fi/-/1410877/uusiutuva-energia-ohitti-fossiilisen-energian-kayton-ja-biokaasu-liitettiin-osaksi-jakeluvelvoitetta>

Vartiainen, E. 2020. Vetytalous tulee – enemmän tai myöhemmin. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 6.4.2023]. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/blogi/forthedoers-blogi/vetytalous-tulee-enemmän-tai-myöhemmin>

Vattenfall. 2023. Kaikki päästöt eivät saastuta. [Verkkosivu]. [Viitattu 15.3.2023]. Saatavissa: <https://group.vattenfall.com/fi/mita-teemme/fossiilivapaa-kehitys/fossiilivapaa-vety>

Vuori, J. 2022. Nykyinen kiinteistökanta tarvitsee toimia energiatehokkuuden parantamiseksi – tukea muutokseen voi hakea myös EU:sta. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 10.4.2023]. Saatavissa: <https://blog.se.com/fi/kiinteistot/2022/02/nykyinen-kiinteistokanta-tarvitsee-toimia-energiatehokkuuden-parantamiseksi-tukea-muutokseen-voi-hakea-myos-eusta/>

Väisänen, M. 2022. Katso, kuinka valtava LNG-laiva rantautui satamaan Inkoossa – turvaa Suomen maakaasunsaantia. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 14.3.2023]. Saatavissa: <https://yle.fi/a/3-12686918>

WWF. 2021. The transition away from oil & gas: a WWF network policy position. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 14.4.2023]. Saatavissa: [https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/wwf\\_policy\\_position\\_\\_\\_the\\_transition\\_away\\_from\\_oil\\_\\_\\_gas.pdf](https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/wwf_policy_position___the_transition_away_from_oil___gas.pdf)

Ylén, N. 2021. Synteettisen metaanin valmistus hiilidioksidista. [Opinnäytetyö]. [Viitattu 9.4.2023]. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/504061/YI%c3%a9n\\_Niklas.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/504061/YI%c3%a9n_Niklas.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Ympäristöministeriö. n.d. Mitä on vihreä siirtymä? [Verkkosivu]. [Viitattu 19.4.2023]. Saatavissa: <https://ym.fi/mita-on-vihrea-siirtyma>