



Aalto-yliopisto
Kemian tekniikan
korkeakoulu

Kemian tekniikan korkeakoulu
Materiaalitekniikan tutkinto-ohjelma

Marleena Ahonen

LIUSKEKAASUVALLANKUMOUKSEN JOHDANNAISVAIKUTUKSET
SUOMEEN VAIHTOEHTOISISSA TULEVAISUUSSKENAARIOISSA

**Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-
insinöörin tutkintoa varten Espoossa 30.4.2014.**

Valvoja

Professori Olli Dahl

Ohjaajat

Diplomi-insinööri Pia Salokoski

Diplomi-insinööri Pirjo Kyläkoski

Tekijä Marleena Ahonen

Työn nimi Liuskekaasuvallankumouksen johdannaisvaikutukset Suomeen vaihtoehtoisissa tulevaisuusskenaarioissa

Laitos Materiaalitekniikka

Professuuri Prosessiteollisuuden ympäristötekniikka

Professuurikoodi Puu-127

Työn valvoja Professori Olli Dahl

Työn ohjaaja(t)/Työn tarkastaja(t) DI Pia Salokoski ja DI Pirjo Kyläkoski

Päivämäärä 30.04.2014

Sivumäärä 125 + liitteet

Kieli Suomi

Tiivistelmä

Työn tavoitteena oli selvittää Yhdysvaltojen liuskekaasuvallankumouksen ja liuskekaasutuotannon laajentumisen vaikutuksia Suomeen. Tarkoituksena oli saada käsitys siitä, miten suuresta ilmiöstä on kyse, mitkä ovat liuskekaasutuotannon seuraavat askeleet, mitä kaasutulevaisuuden näkymiä voidaan identifioida sekä mitä liiketoimintamahdollisuuksia ne tuovat erityisesti Suomelle. Diplomityö suoritettiin Innovaatorahoituskeskus Tekesin projektina, tarkoituksenaan tuottaa hyödyllistä tietoa suomalaisille yrityksille ja päätöksentekijöille.

Tutkimusmenetelminä käytettiin kirjallisuustutkimusta ja alan toimijoiden haastatteluita Yhdysvalloissa ja Suomessa. Työssä tarkastellaan kaasutaloutta laaja-alaisesti myös uusiutuvien kaasujen näkökulmasta. Taustatyönä on perehdytty liuskekaasun tuotantomenetelmiin ja tuotannon vaikutuksiin ympäristöön, ilmastomuutokseen sekä talouteen. Haastatteluilla Yhdysvalloissa selvitettiin vallitsevaa tilannetta ja kerättiin luotettavaa tietoa liuskekaasun tuotantoalueelta. Haastatteluilla Suomessa selvitettiin toimijoiden näkemyksiä liuskekaasusta sekä yritysten osaamisen yhtymäkohtia tuotantoon ja kaasun hyödyntämiseen.

Työssä havaittiin liuskekaasutuotannon laajenevan jo tällä vuosikymmenellä muihin maanosiin ja lisäävän kaasun merkitystä primäärienergian lähteenä. Suomessa kaasun käyttömahdollisuudet kasvavat alkavan LNG-tuonnin myötä kaasuputkiston ulkopuolelle kaikille energiaa kulltaville sektoreille. Tämä kasvattaa myös biopohjaisten uusiutuvien kaasujen käyttöä. Infrastruktuurin laajentuminen vie eteenpäin myös metaanitaloutta, jossa uusiutuvien energiamuotojen sähkö varastoidaan metaanina, jota pystytään hyödyntämään maakaasun tavoin. Työssä laadittiin kolme kaasutalouden skenaariota, joista jokaiseen tunnistettiin liittyvän runsaasti liiketoimintamahdollisuuksia suomalaisille yrityksille.

Tulevaisuusskenaarioiden tarkasteluun liittyy aina epävarmuutta, sillä nyt käynnissä olevan kehityksen todelliset vaikutukset selviävät vasta niiden tapahtuessa. Kuitenkin, liuskekaasun havaittiin olevan merkittävä ilmiö ja suuri energiamarkkinoiden muutostekijä. Suunnitelmallisesti etenemällä, pystytään kaasuun siirtymisellä edistämään kustannustehokkaasti ilmastomuutoksen hillitsemistä. Kestävää tulevaisuutta kohti etenemiseen voidaan vaikuttaa tämän päivän valinnoilla ja lainsäädännöllä.

Avainsanat Liuskekaasu, Maakaasumarkkinat, LNG, Ympäristövaikutukset; Ilmastomuutos; Biokaasu, Metaanitalous, Liiketoimintamahdollisuudet, Tulevaisuusskenaariot

Author Marleena Ahonen

Title of thesis The Derivative Effects of Shale gas Revolution on Finland in Variant Future Scenarios

Department Material Science and Engineering

Professorship Environmental technology for Process Industry **Code of professorship** Puu-127

Thesis supervisor Professor Olli Dahl

Thesis advisor(s) / Thesis examiner(s) M.Sc. Pia Salokoski and M.Sc. Pirjo Kyläkoski

Date 30.04.2014 **Number of pages** 125 + appendix **Language** Finnish

Abstract

The objective of this Master's Thesis was to clarify the effects of the United States' shale gas revolution and the subsequent expansion of shale gas production on Finland. The purpose was to find out how big a phenomenon is at stake, what the next steps of shale gas production will be and gain insights about the role of gas as a future energy source. Finally, the idea is to identify business opportunities for Finnish companies in different future scenarios. Thesis was carried out as a project initiated by Tekes – the Finnish Funding Agency for Innovation, to provide Finnish companies and decision-makers valuable information about the on-going change.

The research methods comprised a literature review and interviews of key players in Finland and United States. Thesis reviews the Gas Economy from a wide perspective including its possibilities for renewable energy sources. Shale gas production methods and the impact of the production on environment, climate change and economy were reviewed. The interviews carried out in United States were aimed at gaining reliable information on the current situation of on-going shale gas production. The interviews in Finland were carried out to survey the opinions of the relevant actors on shale gas and on the interfaces between Finnish know-how and shale gas production.

It was found out that shale gas production will spread to other continents already before the end of this decade. This will increase the significance of gas as a primary energy source. Due to LNG-imports also the gas-usage possibilities in Finland will build-up outside the present pipeline network in all energy-consuming sectors. This increases the usage of bio-based renewable gases as well. The expansion of gas-utilizing infrastructure also drives countries towards the Methane Economy, where the electricity produced with renewable energy sources is stored as methane to be utilized as natural gas. Three scenarios for Gas future were composed and each one of them was identified to have a great deal of business opportunities for Finnish companies.

Future scenarios have uncertainties, the real impact of the on-going development can only become certain once it has occurred. Nevertheless, Shale gas can be identified as a significant phenomenon and a game changer for the energy market. By proper selection of a strategy, gas can be the gateway to a cost-effective mitigation of the climate change. The choices and legislation of today can lead to a sustainable future.

Keywords Shale gas, Natural gas markets, LNG, Environmental effects, Climate change, Bio-gas, Methane economy, Business opportunities, Future scenarios

Alkusanat

Diplomityö on tehty Innovaatiotutkimuskeskus Tekesin projektina. Tekesillä tunnistettiin tarve tehdä selvitystä liuskevallankumouksen aloittamasta suuresta muutoksesta energia toiminta-alueella. Työn on tarkoitus tukea Tekesin strategiatyötä ja ennakoivien toimien suunnittelua. Lisäksi työn tavoitteena on tuottaa arvokasta tietoa suomalaisille yrityksille ja päätöksentekijöille.

Tahtoisin kiittää työni ohjaajia Pia Salokoskea ja Pirjo Kyläkoskea sekä esimiestäni Teija Lahti-Nuutilaa arvokkaasta tuesta diplomityön tekemisessä. Erityiskiitokset haluan sanoa Pia Salokoskelle yhteisestä innovoinnista ja kannustuksesta. Kiitoksia Tekesille tilaisuudesta tehdä diplomityö näin mielenkiintoisesta, laajasta ja ajankohtaisesta aiheesta. Kiitoksia myös mielettömästä mahdollisuudesta suorittaa osa tutkimuksesta Yhdysvalloissa. Haastatteluista sain kerättyä arvokasta tietoa, jota Suomessa ei vielä kellään ollut. Kokeelliseen osaan osallistuneita suomalaisia haastateltavia haluan kiittää ajatuksistanne ja ajastanne.

Kiitokset työni valvojalle professori Olli Dahlille, joka innosti ennakkoluulottomaan ajatteluun ja tuki luottamaan omiin ratkaisuihini.

Lopuksi haluaisin myös kiittää läheisiä ystäviäni, jotka ovat auttaneet minut läpi pitkistä päivistä työn parissa. Erityismaininnan ansaitsevat poikaystäväni Miska sekä ystäväni Anne, jotka ovat olleet tukena kaikkina vuorokauden aikoina. Kiitokset äidille ja isälle, jotka toimivat tärkeänä etätukena ja kannustajina Kaliforniasta. Olette johdattaneet minut oikealle tielle ja olleet tukena tähänastisen seikkailun jokaisessa vaiheessa.

Helsingissä 14.5.2014

Marleena Ahonen

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
TUTKIMUSMENETELMÄT	
2. Tutkimusmenetelmät	3
2.1 Kirjallisuustutkimus	3
2.2 Haastattelut tiedonkeruussa	3
2.2.1 Haastattelut Yhdysvalloissa	4
2.2.2 Haastattelut Suomessa	5
2.3 Tulevaisuusskenaariot	5
KIRJALLISUUSOSA	
3. Kaasutalous	7
3.1 Maakaasumarkkinat	7
3.2 Maakaasuesiintymät maailmalla	8
3.3 Liuskekaasu	10
3.3.1 Määritelmä	10
3.3.2 Liuskekaasuesiintymät	10
3.3.3 Liuskekaasun toimijaverkostot	11
3.4 Biokaasu	13
3.5 Synteettinen maakaasu, SNG	15
3.6 Vety	17
3.7 Nesteytetty maakaasu, LNG	19
3.8 Kaasunhinnankehitys	22
3.8.1 Tuotannonkustannukset: Maakaasu ja liuskekaasu	23
3.8.2 Kaasun vienninkustannukset	23
3.9 Liuskekaasun vaikutus maakaasumarkkinoihin	25
3.10 Tulevaisuuden maakaasutrendejä ja liuskekaasun vaikutus	26
4. Liuskekaasun tuotanto ja ympäristövaikutukset	30
4.1 Kaasun tuotanto	30
4.1.1 Esiintymien ominaisuudet	30
4.1.2 Kaivon poraaminen ja päällystäminen	31
4.1.3 Vesisärötysprosessi	32

4.1.4	Prosessin vedenkulutus	33
4.1.5	Särötyskemikaalit	34
4.1.6	Kaasun tuotanto	35
4.1.7	Poistoveden käsittely ja puhdistus	35
4.2	Merkittävimmät paikalliset ympäristövaikutukset	37
4.2.1	Vaikutukset veteen	38
4.2.1.1	Vaikutukset vedensaantiin paikallisista lähteistä	39
4.2.1.2	Kemikaalipäästöt	39
4.2.1.3	Metaanipäästöt vesistöihin	40
4.2.1.4	Poistovesien päästöt	41
4.2.2	Ilmanpäästöt	42
4.2.3	Vaikutukset maaperän seismisyyteen	42
4.3	Laajat ympäristövaikutukset – Ilmastonmuutos	45
4.3.1	Maakaasu ilmastonmuutoksessa	45
4.3.2	Liuskekaasutuotannon ja kuljetusten kasvihuonekaasupäästöt	47
4.3.3	Liuskekaasukaivot CO ₂ -päästöjen varastona	49
4.3.4	Päästökaupan tai hiiliveron vaikutukset	50
4.3.5	Liuskekaasun kasvihuonekaasupäästöjen vähennyspotentiaali	51
4.4	Sosiaaliset vaikutukset ja yleinen hyväksyttävyys	54
4.5	Yhteenveto	56
5.	Liuskekaasuvallankumous Yhdysvalloissa	57
5.1	Liuskekaasun tuotanto	59
5.2	Lainsäädäntö ja vaikutukset toimijoihin	62
5.3	Yksityisten maanomistajien kaivannaisoikeus	63
5.4	Sosiaalisia vaikutuksia	64
5.5	Vaikutukset talouteen	65
5.6	LNG-vienti ja Yhdysvallat	67
5.7	Toteutuneet ilmastonmuutosvaikutukset	69
5.8	Vaikutus muihin energialähteisiin	71
5.8.1	Vaikutus kivihiileen ja öljyyn	71
5.8.2	Vaikutus uusiutuviin energiamuotoihin	72
5.9	Yhdysvaltojen kaasutrendejä	74
5.10	Ympäristövaikutuksista keskusteluissa	76
5.11	Eurooppa Yhdysvaltojen näkökulmasta	78

6. Muiden maiden liuskekaasuvarannot	81
6.1 Kiina	81
6.2 Venäjä	83
6.3 Eurooppa	85
6.3.1 LNG ja Eurooppa	88
6.3.2 EU:n energiapolitiikat	89
6.3.3 Euroopan tulevaisuuden suuntia	90
6.3.4 Aktiviteetteja Euroopan maissa	91
6.3.4.1 Iso-Britannia	91
6.3.4.2 Puola	92
6.3.4.3 Ranska	93
7. Suomi	94
7.1 Maakaasu Suomessa	94
7.2 Biokaasu Suomessa	97
7.3 LNG:n merkitys Suomelle ja Itämeren LNG-hankkeet	98
7.4 Tulevaisuuden suuntia	99
7.5 Haastattelujen tulokset	100
7.5.1 Liuskekaasun vaikutuksia	100
7.5.2 Maakaasun käyttömahdollisuuksia	102
7.5.3 Tuotanto ja vaikutuksia Eurooppaan ja muualle maailmaan	103
7.5.4 Kaasuputkisto ja LNG	105
7.5.5 Uusiutuvat energiamuodot, biokaasu ja SNG	106
7.5.6 Liuskekaasutoiminnoissa olevat yritykset Kemira ja Wärtsilä	107
7.5.7 Liiketoimintamahdollisuudet	109

TUTKIMUSTULOSTEN KÄSITTELY JA JOHTOPÄÄTÖKSET

8. Ennakointi: Laajan kaasutulevaisuuden skenaariot	111
8.1 Skenaario A) Suomessa LNG kasvattaa maakaasun käyttömahdollisuuksia, lisäputkistoa ei rakenneta	112
8.2 Skenaario B) Liuskekaasusta globaali hyödyke	117
8.3 Skenaario C) Metaanitalous – uusiutuvat linkittyvät kaasuinfrastruktuuriin	122
9. Johtopäätökset	124

LYHENTEET

AEO	IEA Annual Energy Outlook
ANGA	American Natural Gas Alliance
bcm	Billion cubic metre, miljardi kuutiometriä, 10^9m^3
Bio-SNG	Bio-based Synthetic natural gas, Biopohjainen synteettinen maakaasu
BP	British Petroleum
CCS	Carbon capture and Storage, Hiilidioksidin talteenotto ja säilytys
DOE	U.S. Department of Energy
DSHS	Texas Department of State Health Services
EIA	U.S. Energy Information Administration
EPA	U.S. Environmental Protection Agency
Eta	Elinkeinoelämän tutkimuslaitos
EU	Euroopan Unioni
FERC	U.S. Federal Energy Regulatory Commission
FT	Fischer-Tropsch
GDP	Gross domestic product, Bruttokansantuote
IEA	International Energy Agency
IMO	Kansainvälinen merenkulkujärjestö
IPAA	Independent Petroleum Association of America
IPCC	International Panel on Climate Change
JCC	Japan Custom-cleared Crude
LNG	Liquefied natural gas, Nesteytetty maakaasu
NGL	Natural Gas Liquids, Nestemäiset hiilivety-yhdisteet
NREL	U.S. National Renewable Energy Laboratory
NTP	Normal temperature and pressure
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals
SNG	Synthetic natural gas, Synteettinen maakaasu
TCEQ	Texas Commission on Environmental Quality
Tcm	Trillion cubic metre, biljoona kuutiometriä, 10^{12}m^3
TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö
VOC	Volatile organic compounds, Haihtuvat orgaaniset yhdisteet
VTT	Teknologian tutkimuskeskus

1. JOHDANTO

Konventionaalisten energiavarojen niukkeneminen ja teknologian kehitys ovat tehneet liuskekaasusta kiinnostavan vaihtoehdon energialähteenä. Liuskekaasu on epäkonventionaaliin esiintymiin sitoutunutta maakaasua, jonka hyödyntämisestä on tullut taloudellisesti kannattavaa viime vuosikymmenen lopulla. Todennetut maakaasuvarat riittävät globaaliin kulutukseen noin 56 vuodeksi. Liuskekaasuesiintymistä tehdyt arviot voivat lisätä maakaasun riittävyttä nykykulutuksella peräti 300 vuodelle. Maailman liuskekaasuvarannot ovat levittäytyneet konventionaalisia maakaasuvarantoja laajemmin, mikä mahdollistaa energiantuotannon aloittamisen myös uusissa valtioissa. Liuskekaasu tekee uusista alueista energiaomavaraisia, vaikuttaa perinteisiin tuonti- ja vientisuhteisiin sekä kasvattaa kaasun käyttömahdollisuuksia primäärienergianlähteenä. Valtioiden suunnitelmat esiintymien hyödyntämisestä voivat muuttaa merkittävästi globaaleja energiamarkkinoita. Kansainvälisen energijärjestön IEA:n mukaan vuoteen 2035 mennessä kaasulla tuotetaan yli neljäsosa maapallon energiasta.

Yhdysvalloissa on pystytty ensimmäisenä maailmassa hyödyntämään liuskekaasuesiintymiä kannattavasti. Tämä on johtunut menestyksestä vesisärötys- ja vaakaporaustekniikoissa, joiden kehittämiseen on motivoinut erityisesti maakaasun korkea hinta. Yhdysvalloissa alkanut liuskekaasuvallankumous on lyhyessä ajassa määrittänyt uudelleen maan energiantuotannon sekä aikaansaanut ”teollisuuden renessanssin” ja talouden kasvun. Vuodesta 2000 Yhdysvaltojen liuskekaasutuotanto on kasvanut 2 500 % ja vuoden 2014 alussa liuskekaasu vastasi jo 40 % Yhdysvaltojen maakaasun tuotannosta. Liuskekaasutuotannon alkamisen jälkeen maakaasun eri markkinoiden hinnoissa on havaittu merkittäviä eroja. Vuoden 2012 ensimmäisellä puoliskolla maakaasun hinta Yhdysvalloissa oli vain 60 % Euroopan ja 20 % Aasian hintatasosta. Maakaasu on korvannut kivihiltä primäärienergianlähteenä, minkä ansiosta Yhdysvallat on pystynyt lyhyessä ajassa vähentämään kasvihuonekaasupäästöjään 10 %. Liuskekaasun hyödyntämisprosessissa käytetystä vesisärötuksesta voi kuitenkin aiheutua haitallisia ympäristövaikutuksia kuten maaperän ja pohjavesien pilaantumista sekä metaanipäästöjä. Tämä on herättänyt paljon keskustelua käytetyn teknologian turvallisuudesta.

Muualla maailmassa kuin Yhdysvalloissa ei ole vielä pystytty aloittamaan taloudellisesti kannattavaa kaasun tuotantoa liuskekaasuesiintymistä. Kiinassa on maailman mittavimmat liuskekaasuvarannot, mutta ne ovat vaikeammin hyödynnettävissä kuin Yhdysvaltojen esiintymät. Euroopassa muun muassa Puola ja Iso-Britannia kartoittavat omia varanto-

jaan. Liuskekaasu tulee todennäköisesti kasvattamaan Venäjän maakaasusta riippuvais-
ten maiden huoltovarmuutta ja energiaomavaraisuutta. Euroopassa hyödyntämistä rajoit-
tavat huoli tuotannon ympäristövaikutuksista ja se on kohdannut suurta vastustusta. Esi-
merkiksi Ranska ja Bulgaria ovat kokonaan kieltäneet vesisärötysprosessin käytön. Tä-
män lisäksi Isossa-Britanniassa on pidetty useita liuskekaasutuotannon vastaisia mielen-
osoituksia.

Liuskekaasusta johtuva energialähteiden muutostilanne sekä hyödyntämisteknologioiden
haasteet tuovat mukanaan myös paljon liiketoimintamahdollisuuksia. Tutkimuksen tavoit-
teena on selvittää liuskekaasun tähänastiset todelliset vaikutukset Yhdysvalloissa ja en-
nakoida mitkä ovat liuskekaasun vaikutukset Euroopan ja Suomen energia toiminta-
alueeseen. Tämän taustalla on ajatuksena tarkastella mitkä ovat suomalaisten toimijoiden
vahvuudet liittyen liuskekaasun yleistymisen myötä syntyviin liiketoimintamahdollisuuksiin.
Tutkimusmenetelminä käytettiin kirjallisuustutkimusta ja olennaisten toimijoiden haastatte-
luita Suomessa sekä projektimatalla Yhdysvalloissa.

TUTKIMUSMENETELMÄT

2. TUTKIMUSMENETELMÄT

Tutkimusmenetelminä on käytetty kirjallisuustutkimusta ja haastatteluita Suomessa sekä Yhdysvalloissa, joiden avulla on perehdytty liuskekaasuun ilmiönä, sen tulevaisuuden näkyymiin sekä sen epäsuoriin ja suoriin vaikutuksiin.

2.1 Kirjallisuustutkimus

Kirjallisuustutkimusta varten perehdyttiin aihepiiriin kirjallisuuteen sekä artikkeleihin ja mediassa käynnissä olevaan keskusteluun. Kirjallisuustutkimuksen avulla kerättiin tietoa jo tapahtuneista vaikutuksista ja ennakoituista tulevista vaikutuksista. Aihepiiriin pyrittiin perehtymään mahdollisimman syvällisesti ja saamaan sitä kautta myös tukea niin itse haastattelutilanteisiin, kuin niiden läpikäymiseen. Tutkimuksen alusta alkaen haasteeksi osoittautui aiheen uutuusarvo.

2.2 Haastattelut tiedonkeruussa

Nielsenin mukaan haastattelujen käyttäminen tutkimustyökaluna on paras menetelmä selvittämään kvalitatiivista eli laadullista tietoa tutkimuskohteiden suhtautumisesta aiheeseen. Johtuen liuskekaasuaihepiirin uutuudesta ja vieraudesta, haastattelukysymykset pidettiin mahdollisimman avoimina ja kvalitatiivisella tutkimuksella pyrittiin saamaan laajat vastaukset. (Nielsen, 1993)

Haastattelutyypinä käytettiin teemahaastattelun (puolistrukturoitu) ja avoimen (strukturoidu) haastattelun välimuotoa. Siirryttäessä kohti avointa haastattelua käsittelyn yhdenmukaisuus vähenee, mutta vastauksissa päästään syvälle yksittäisen haastateltavan ymmärrykseen aiheesta. Teemahaastattelulle ominaisesti, haastatteluissa käytettiin ennakkoon mietittyjä kysymyksiä, jotka oli räätälöity yksittäiselle haastateltavalle soveltuviksi kattavimman tiedon saamiseksi. (Hirsjärvi & Hurme, 2001) Avoimen haastattelun piirteitä haastatteluihin toivat keskustelun omaiset tilanteet, jossa haastateltavien vastauksiin reagoitiin ja esitettiin näiden pohjalta lisäkysymyksiä, joilla pyrittiin pääsemään aiheessa vielä syvemmälle. Käytettyjen haastattelumenetelmien haasteena oli vaadittu korkea perehty-

misaste kyseisen toimijan mahdollisesta suhteesta liuskekaasuun ja valmiiksi riittävä ymmärrys aihepiiristä.

Haastatteluissa käytettiin mahdollisuuksien mukaan nauhuria ja käsintehtyjä muistiinpanoja, joiden pohjalta haastatteluaineisto käytiin läpi.

Tavoitteena oli saada haastattelujen pohjalta luotettavaa tietoa liitettäväksi osaksi tutkimustyötä ja selvittää sekä yhdysvaltalaisen että suomalaisten toimijoiden näkemiä vaikutuksia Eurooppaan ja Suomeen. Haastattelujen ja olemassa olevan tutkimustiedon pohjalta muodostetaan oma käsitys jo käynnistyneen liuskekaasutuotannon vaikutuksista. Eriyaisen olennaisena pidettiin luotettavan tiedon keräämistä monesta eri näkökulmasta. Liuskekaasu on laajana ilmiönä niin uusi, että tutkimusten määrä on toistaiseksi vähäinen. Tehtyjen tutkimusten on puolestaan kritisoitu olevan öljy- ja kaasuyhtiöiden tai ympäristöjärjestöjen rahoittamina puolueellisia.

2.2.1 Haastattelut Yhdysvalloissa

Merkittävä osa tutkimustyöstä suoritettiin neljän viikon projektimatalla Yhdysvalloissa. Tavoitteena oli selvittää: 1) Yhdysvaltojen nykytilanne liuskekaasuteknologioiden osalta, 2) Liuskekaasun ympäristö- ja sosiaaliset vaikutukset, 3) Päätrendit ja tulevaisuuden suunnat, 4) Tutkimuksen painopisteet ja käynnissä olevat projektit, 5) Lainsäädännöt ja geopoliittiset intressit liuskekaasun suhteen ja 6) Suurimmat liuskekaasuteollisuuden menestymisen haasteet. Yhdysvalloissa ovat merkittävimmät liuskekaasutoimijat ja aihepiiriin liittyvä tieto, sillä muualla maailmassa ei ole käynnissä olevaa tuotantoa.

Tiedonkeräys tehtiin haastatteleamalla paikallisia toimijoita, jotka Tekesin Piilaakson ja Washington DC:n toimistot sekä heidän kontaktinsa olivat nimenneet olennaisiksi liuskekaasuteollisuuden toimijaverkostoissa. Maantieteellisesti kohteet jakautuvat seuraavasti: Länsirannikolla Piilaaksossa haastattelut keskittyivät liuskekaasun laajempiin vaikutuksiin, suhteeseen uusiutuvaan energiaan, energia-alan investointitrendeihin ja akateemiseen näkökulmaan. Itärannikolla Washington DC:ssä tiedonkeruu keskittyi poliittiseen päätöksentekoon ja lainsäädännöllisiin suuntiin, Eurooppa-näkemyksiin, ympäristö- ja sosiaalisiin vaikutuksiin sekä yritysten näkökulmiin.

Haastatteluja suoritettiin yhteensä 14 kappaletta, joista kaksi tehtiin peruutuksista johtuen sähköpostin välityksellä. Haastateltavat on esitelty liitteessä 1 ja Yhdysvalloista kerättyä

tietoa on käsitelty pääosin kappaleessa 5. Epäselvyyksien välttämiseksi, haastatteluista saadun tiedon viittaamiseen on käytetty kursivoitua viitettä.

2.2.2 Haastattelut Suomessa

Suomen haastattelujen tavoitteina oli selvittää täällä olevaa osaamis- ja kiinnostuskenttää sekä niiden yhtymäkohtia Yhdysvalloissa jo käynnistyneen liuskekaasuteollisuuden luomiin liiketoimintamahdollisuuksiin. Suomessa tehdyillä haastatteluilla selvitettiin toimijoiden näkemyksiä liuskekaasun vaikutuksista ja tulevaisuuden visioista kaasun käytölle energialähteenä, sekä liuskekaasun vaikutuksista muihin energialähteisiin ja investointeihin. Lisäksi selvitettiin yritysten mielipiteitä liuskekaasuun liittyvistä liiketoimintamahdollisuuksista ja valmiudesta laajentaa toimintojaan koskemaan liuskekaasua tai yleisesti kaasua energianlähteenä.

Haastateltavat valikoituivat Tekesin Pasilan toimiston tunnistamista aihepiiriin olennaisista toimijoista, joiden valitsemisen lähtökohtana oli valmiiksi koettu potentiaali liiketoimintamahdollisuuksista, joko suoraan liuskekaasuntuotantoon liittyen tai epäsuorasti maakaasun kulutukseen liittyen.

Haastatteluja tehtiin yhteensä 13 kappaletta, joista yksi suoritettiin puhelinhaastatteluna. Haastateltavat on esitelty liitteessä 2 ja haastatteluja on käsitelty kappaleessa 7.5.

2.3 Tulevaisuusskenaariot

Tutkimustyössä käsitelty voimakas tulevaisuuden signaali on Yhdysvalloista alkanut liuskekaasuvallankumous, jolla on nyt jo tunnistettu olevan laajat vaikutukset energiamarkkinoihin. Työn tavoitteena oli selvittää liuskekaasun kehityssuuntia, ennakoida vaikutuksia Suomeen ja Eurooppaan sekä arvioida sen tuomia liiketoimintamahdollisuuksia.

Tulevaisuudentutkimusta tehdessä tulee pitää mielessä, että tulevaisuus ei ole ennalta määrätty, vaan koostuu vaihtoehtoisista tulevaisuuksista, joista tämän päivän tapahtumalkioita voidaan pitää signaaleina. Tulevaisuuteen voidaan kuitenkin vaikuttaa tämän päivän teoilla ja valinnoilla. Tästä johtuen on tärkeä pyrkiä tiedostamaan tänä päivänä, mikä tulevaisuudessa on mahdollista, mikä on todennäköistä, ja mitkä ovat halutut kehityssuunnat. Toisin sanoen, mitä kohti tämän päivän valinnoilla ja esimerkiksi lainsäädännöllä pyritään etenemään. (Rubin, 2005) Haluttuihin kehityssuuntiin liittyvä keskustelu energia

toiminta-alueella koostuu erityisesti ilmastonmuutosvaikutusten minimoimisesta ja energiansaannin tasa-arvoisesta takaamisesta kaikille.

Yleisesti energiantuotannon tulevaisuutta miettiessä olennaisin kysymys on miten valittu energialähde vaikuttaa ilmastonmuutokseen. Erityisesti liuskekaasun tulevaisuutta mietittäessä tärkeitä kysymyksiä ovat: Miten liuskekaasutuotanto tulee laajentumaan ja mitkä ovat kaasunkäytön mahdolliset seuraavat askeleet kohti vähähiilisempää tulevaisuutta? Analysoitaessa tulevaisuuden energiaympäristöä merkittävä vaikutus on maiden välisillä ilmastopimuksilla, jotka voivat ohjata maita nopeasti vaihtoehtoihin suuntiin.

Tulevaisuusskenaariot luotiin yhdessä työn ohjaajien kanssa, kunnollisen aiheeseen perehtymisen jälkeen. Erään määritelmän mukaan tulevaisuuden tutkimuksen empiirisen havainnoinnin kohde on nykyhetken ja toiminta-alueen laaja-alainen ymmärrys, selvittämällä monien eri tieteiden tutkimustuloksia ja uutta tietoa. (Rubin, 2005)

Tulevaisuuden tarpeiden mahdollistaminen, eli ilmastonmuutoksen hillitseminen ja energiansaannin takaaminen, olivat pyrkimyksenä skenaarioissa. Tausta-ajatuksena skenaarioiden muodostamisessa oli pohtia:

- Mitä on jo tapahtunut Yhdysvalloissa?
- Mitä vaikutuksia tällä on Suomelle ja Euroopalle?
- Miten liuskekaasun hyödyntäminen etenee ja mitä lähtökohtia etenemiselle on?
- Mitä tapahtuu "liuskekaasun jälkeen" eli miten päästään uusiutuvien energiamuotojen kasvavaan hyödyntämiseen?

KIRJALLISUUSOSA

3. KAASUTALOUS

Liuskekaasuvarantojen hyödyntäminen on kasvattanut kaasun merkitystä tulevaisuuden energialähteenä. Kaasutaloudessa käsitellään kaasumuotoisten, pääkomponenttina metaania sisältävien polttoaineiden esiintymiä, markkinoita, tuotantomenetelmiä ja -kustannuksia sekä tulevaisuudennäkymiä. Kaasutalouden fossiilisiin polttoaineisiin sisältyvät maakaasu sekä liuskekaasu, joka on itsessään maakaasua, mutta sitoutuneena hankalammin hyödynnettävissä oleviin epäkonventionaalsiin esiintymiin, sekä synteettinen maakaasu SNG (synthetic natural gas). Uusiutuviin kaasuihin puolestaan sisältyy biokaasun lisäksi synteettinen biokaasu bio-SNG, joiden kannattavuuden nähdään kasvavan kaasun hyödyntämiseen käytettävän infrastruktuurin lisääntyessä. Metaanipitoisten polttoaineiden lisäksi kaasutalouden kannalta on huomionarvoista käsitellä myös vetyä tulevaisuuden energialähteenä.

3.1 Maakaasumarkkinat

Energian maailmankaupalla ja hinnoilla on hyödykemarkkinoista suurin vaikutus maailmantalouteen, mistä johtuen pienetkin muutokset kysynnässä ja tarjonnassa voivat muuttaa sen suuntaa. Valtion omat energiavarannot ovat poliittisesti tärkeä kysymys niin energiaomavaraisuuden kuin huoltovarmuudenkin takia. Edullinen kotimainen energialähde edistää maan talouskasvua. (Gilardoni, 2008)

Maakaasulla ei ole yhtenäisiä globaaleja markkinoita eikä yksittäistä hintaa, vaan hinnoissa on esiintynyt suuriakin alueellisia vaihteluita. Maakaasun kuljettaminen ja varastoiminen vaativat merkittäviä investointeja, johtuen sen matalasta energiatiheudestä. Tästä johtuen maakaasu on ollut pääosin paikallinen hyödyke ja noin 70 % maailman tuotetusta kaasusta kulutetaan paikallisesti. (BP, 2013b) Maakaasutoimitukset ovat perinteisesti olleet sidottuja kiinteään kaasuputkistoon, jossa taloudellisen siirtoetäisyyden pidetään olevan korkeintaan muutamia tuhansia kilometrejä tuotantopaikasta. Maakaasun vientisopimukset, toimitusjärjestelyt ja hinnoittelu tehdään asiakaskohtaisesti riippuen kaasun siirtoamatkan pituudesta ja olosuhteista. (Pirilä, 2009) Pääosa Euroopan maakaasukaupasta perustuu pitkiin kahdenvälisiin toimitussopimuksiin, jotka ovat sidottuna öljyn markkinahintaan.

Nesteytetty maakaasu eli LNG (Liquefied natural gas) vie maakaasumarkkinoita globaaliin suuntaan. Nesteytettynä kaasu saadaan 600-kertaa energiatiheämpään olomuotoon, jolloin sitä voidaan kuljettaa LNG-säiliöaluksilla kaasuputken ulkopuolisille markkinoille maailmanlaajuisesti. LNG:n toimituskustannukset nousevat putkitoimituksia korkeammiksi, mutta niiden ansiosta maiden huoltovarmuus lisääntyy ja riippuvaisuus maantieteellisesti rajoittuneista putkitoimittajista pienenee. Useampien toimittajien markkinat myös kasvattavat kilpailua ja siten mahdollisesti laskevat kulutushyödykkeen hintaa. (Wood, 2012)

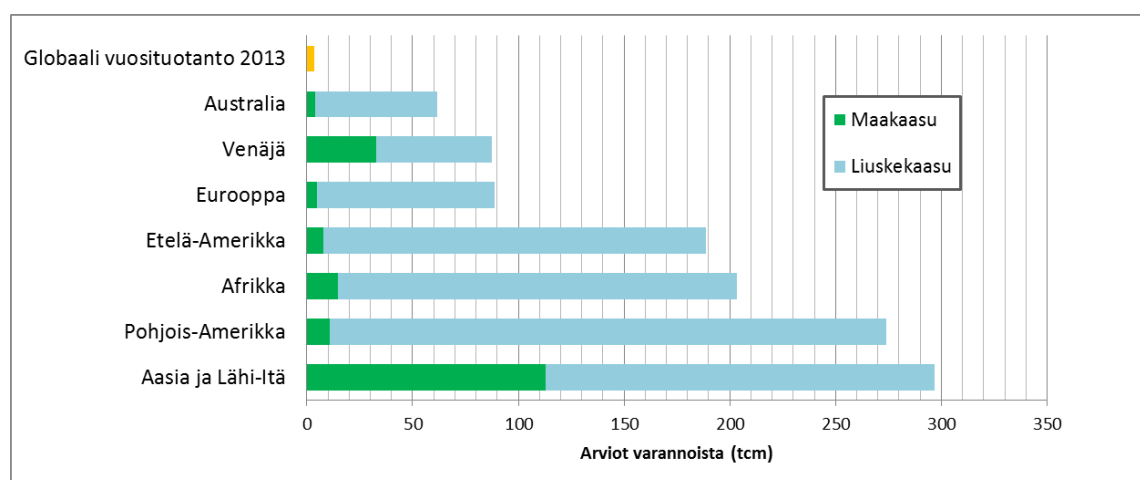
Liuskekaasuesiintymien hyödyntämisen alkamisella on jo nyt ollut suuri vaikutus niin maakaasu- kuin koko energiamarkkinoihin. Teknologian kehittymisen myötä uusilla alueilla on mahdollisuus tulla energiaomavaraisemmiksi ja pienentää riippuvuuttaan merkittävimmistä energian tuottajamaista. Lisäksi liuskekaasun tuotanto tuo mahdollisuuden luoda talouskasvua kotimaisella energialähteellä, esimerkiksi teollisuuden kasvaneen kilpailukyvyn kautta. Epäkonventionaalisten kaasuvarojen reservit ovat jakautuneet tasaisemmin kuin konventionaalisen kaasun. Tämä tekee varannoista teknisen osaamisen kehittyttyä maailmanlaajuisesti kiinnostavia. Perinteisillä kaasuntuontimailla on potentiaali tulla energiaomavaraisiksi ja kaasunvientimaat suuntaavat tuotettaan uusille markkinoille. Liuskekaasuvallankumouksen ansiosta Yhdysvalloille on muutamassa vuodessa kasvanut potentiaali tulla kaasuumavaraisiksi ja muuttua kasvavasta kaasuntuojasta aloittelevaksi kaasuviestäjäksi. Liuskekaasu on jo nyt toiminut teollisuuden piristysruiskeena ja laskenut kotitalouksien kaasunhintaa.

3.2 Maakaasuesiintymät maailmalla

Maakaasuvarantoja voidaan arvioida perustuen todennettujen esiintymien suuruuteen sekä näiden teknisesti hyödynnettävissä olevaan määrään. Maakaasuesiintymät voidaan jakaa resursseihin ja reserveihin, joka voidaan puolestaan jakaa konventionaalisiin ja epäkonventionaalisiin varoihin. Reserveilla tarkoitetaan todennettuja kaasuvaroja, jotka ovat taloudellisesti hyödynnettävissä olemassa olevilla teknisillä ratkaisuilla. Resursseja ovat geologisesti todennetut varat, joiden hyödyntäminen ei ole vielä taloudellisesti kannattavaa ja teknisesti mahdollista sekä maaperässä olevat varat, joita ei ole vielä löydetty. Konventionaalisen esiintymän määritelmä on, että kaasun tuotannossa käytetään vakiintuneita tuotantomenetelmiä. Lisäksi itse tuotettu kaasu tyypillisesti vaatii vain hyvin vähäistä jalostusta. (Koljonen, 2009) Maakaasuresurssit ovat ajan myötä kasvaneet, johtuen uusien varantojen löytymisen lisäksi teknologian kehittymisestä esimerkiksi off-shore-

puolella. Lisäksi nousseiden energiahintojen myötä yhä useampi esiintymä on tullut kannattavaksi hyödyntää. Esiintymän haasteellisuus kasvaa, kun energianhinta nousee tarpeeksi korkealle. Oletuksena on, että kaikki teknisesti hyödynnettävä primäärienergia tullaan hyödyntämään. Epäkonventionaaliset esiintymät ovat geologisesti haastavampia ja niiden hyödyntämiseen tarvitaan erityisiä tekniikoita. (Koljonen, 2009) Näiden määritelmien perusteella liuskekaasuesiintymät ovat epäkonventionaalisia, jotka ovat teknisten ratkaisujen, tässä tapauksessa vesisärötystekniikan ja vaakaporauksen, kehityksen myötä muuttuneet reserveistä resurssiksi.

Kokonaisarviot todennetuista maakaasureserveistä, eli varannot, jotka geologinen ja tekninen tietämys viittaavat olevan riittävällä todennäköisyydellä hyödynnettävissä vallitsevassa taloustilanteessa ja toimintaolosuhteissa, liikkui vuonna 2013 välillä 187,3 Tcm (Trillion cubic metre, biljoona kuutiometriä, $10^{12}m^3$) (BP, 2013a) ja 190,9 Tcm (IEA, 2013b). Todennetuista maakaasuesiintymistä noin puolet on kolmen maan alueella: Iranissa 18 %, Venäjällä 17,6 % ja Qatarissa 13,4 %. Nykykulutuksella todennetut maakaasuvarat riittävät vuoden 2013 vuosituotannolla globaaliin kulutukseen noin 56 vuodeksi. Viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana, todennetut varannot ovat kasvaneet yli puolitoistakertaiseksi (160 %). (BP, 2013a) Kuvassa 1 on esitetty maailman resurssit ja arviot olemassa olevista, vielä todentamattomista kokonaisliuskekaasuvarannoista alueittain.



Kuva 1. Todennetut maakaasuresurssit ja arviot kokonaisliuskekaasuesiintymistä (EIA 2013, BP 2013a)

Todennettujen varantojen suuruus muuttunee, mutta kuvasta nähdään selkeästi, miten merkittävä lisäys epäkonventionaalisella kaasulla on nykyisiin maakaasuvarantoihin. Kuvassa esitetty globaali vuosituotanto vuonna 2013 oli noin 3 364 bcm (billion cubic metre, miljardi kuutiometriä, 10^9m^3) (BP, 2013a). Arviot liuskekaasuesiintymistä lisäävät maakaasun riittämistä nykykulutuksella peräti 300 vuotta. EIA:n vuoteen 2013 mennessä toden-

tamalla, teknisesti hyödynnettävillä liuskekaasuvarannoilla maakaasua riittäisi ylimääräiseksi 65,6 vuodeksi ja BP:n nykykulutuksella 77,7 vuodeksi. Toisin sanoen tähän mennessä jo todennetut teknisesti hyödynnettävät liuskekaasuvarannot yli kaksinkertaistavat maailman maakaasuvarannot. (EIA 2013, BP 2013a)

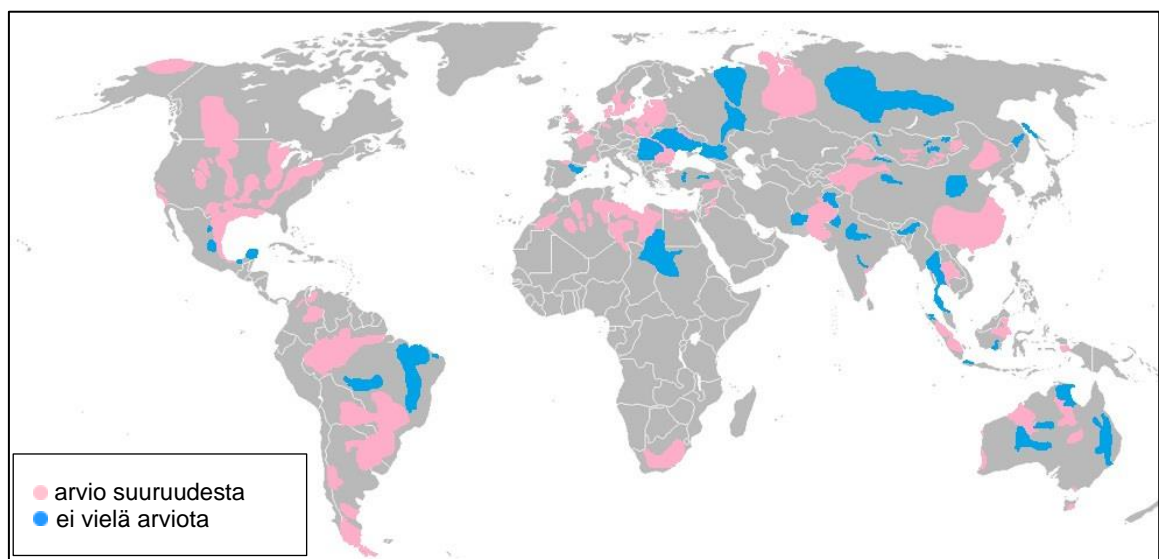
3.3 Liuskekaasu

3.3.1 Määritelmä

Epäkonventionaaliset kaasuvarat viittaavat kaasuesiintymään tai sen osaan, joka on geologisesti haastavassa muodostelmassa ja sen hyödyntäminen vaatii monimutkaisempia prosessointimenetelmiä. Liuskekaasu on maakaasua, joka on varastoituneena saviliuskerrostuman sisälle huokoiseen rakenteeseen. Kaasu koostuu pääosin metaanista CH_4 ja sisältää yleensä hiilidioksidia CO_2 sekä pieniä osia typpikaasua N_2 ja rikkivetyä H_2S . Liuskeissa on yleensä korkea pitoisuus orgaanista ainetta, josta maakaasu on muodostunut sen huokosiin. Liuskemuodostelmat ovat alkuperäinen lähde myös maakaasulle, joista kaasu on päässyt virtaamaan suurempiin, konventionaalisiin esiintymiin. (IEA, 2012)

3.3.2 Liuskekaasuesiintymät

Liuskekaasuvarannot ovat jakautuneet kattavasti kaikkiin maanosiin ja niiden merkitys on maailmanlaajuisen energiansaannin kannalta suuri. Esiintymien suuruus tulee tarkentumaan ja teknisesti hyödynnettävät resurssit tulevat muuttumaan teknologian kehityksen ja geologisen tuntemuksen myötä. Kuvassa 2 on esitetty maailman liuskekaasuesiintymät.



Kuva 2. Maapallon liuskekaasu ja –öljyesiintymät. (EIA, 2013)

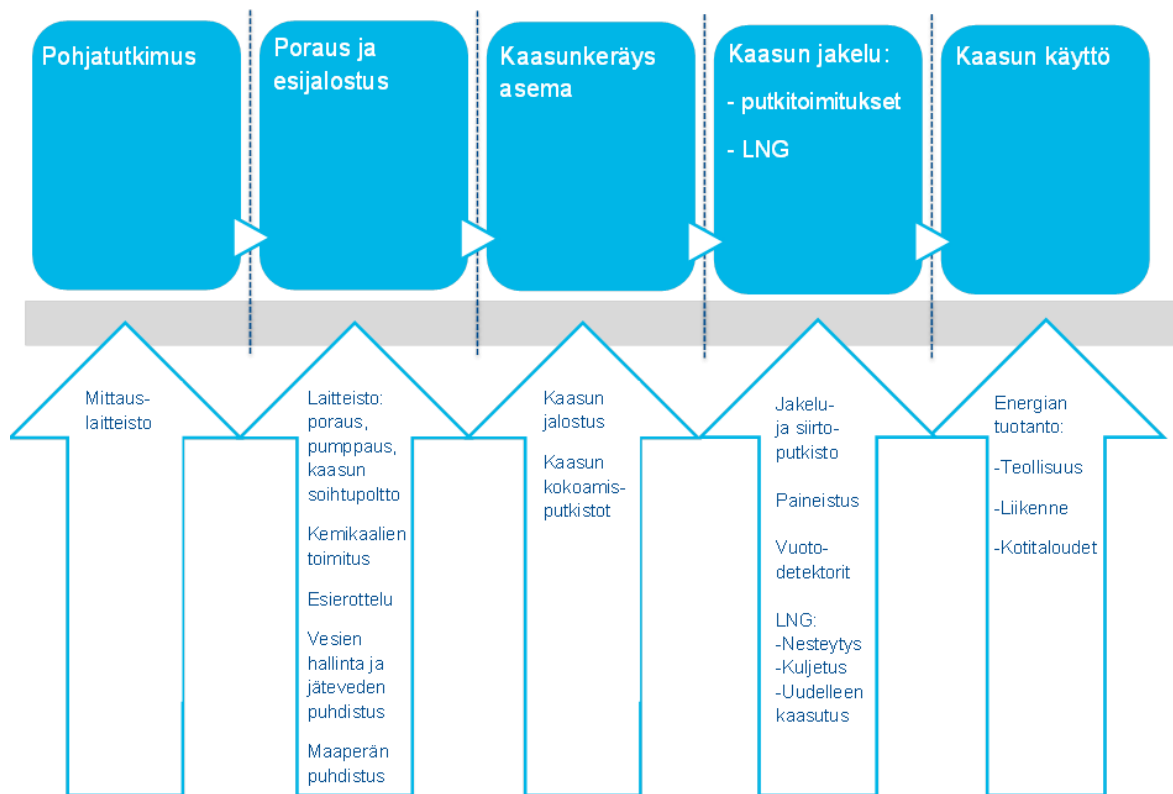
Maanosittain jaettuna, Pohjois-Amerikan teknisesti hyödynnettävät varannot ovat maailman suurimmat ja parhaiten kartoitetut. Voidaan olettaa, että muiden maanosien aloittaessa hyödyntää esiintymiään, tulee teknisesti hyödynnettävien varantojen osuus niissä kasvamaan. Taulukossa 1 on esitetty EIA:n tutkimuksen perusteella todennetut liuskekaasuvarannot ja arviot olemassa olevista liuskekaasuresursseista maanosittain. (EIA, 2013)

Taulukko 1. Liuskekaasuvarannot maanosittain ja teknisesti hyödynnettävien osuus (EIA, 2013)

Maanosa	Liuskekaasuvarannot (Tcm)	Teknisesti hyödynnettävät varannot (Tcm)	Teknisesti hyödynnettävien osuus globaaleista varannoista (%)
Pohjois-Amerikka	263	65	29
Etelä-Amerikka	181	41	18
Aasia	184	40	18
Afrikka	189	39	17
Eurooppa	139	25	11
Australia	58	12	6
Yhteensä	1 013	221	100

3.3.3 Liuskekaasun toimijaverkostot

Liuskekaasun pääasiallinen toimijaverkosto Yhdysvalloissa muodostuu vaiheittain pohjauttutkimuksesta, porauksesta ja esijalostuksesta, kaasunkeräyksestä, kaasun jakelusta ja kaasun käytöstä. Liuskekaasun toimijaverkosto on esitetty kuvassa 3. Tuotantoprosessi on tarkemmin käyty läpi kappaleessa 4.1. Liuskekaasun tuotanto.



Kuva 3. Liuskekaasun toimijaverkostot

Pohjatutkimusvaiheessa porausyritys kartoittaa esiintymän alueellista kaasupitoisuutta ja maaperän ominaisuuksia. Porausyritys vuokraa maanomistajalta kannattavaksi toteaman- sa esiintymän hyödyntämisoikeuden ja valmistele porauskentän porauksen suorittamista varten.

Porausvaiheessa kaivon pinnoittamiseen hankitaan teräsputkea ja sementtiä. Kemikaali-toimittaja myy prosessissa käytettävät vesisärötyskemikaalit, joiden kehityssuunnittelu on optimitilanteessa suoritettu yhdessä porausyrityksen kanssa. Tuotantoon tarvittava vesi otetaan joko pinta- tai pohjavesistä ja lisätarve ostetaan kunnan vesilaitokselta. Lisäksi tarvitaan kuljetuspalveluita logistiikka-alan toimijoilta esimerkiksi kemikaalien ja tuotan- nonvesien toimituksiin. Vesisärötystä varten tarvitaan pumppuja riittävän paineen muo- dostamiseksi. Prosessin takaisinvirtaamavedet otetaan talteen vesisäiliöihin ja toimitetaan pois tuotantoalueelta putki- tai rekkakuljetuksilla. Yritys joko syöttää jätevedet syväinjek- tointikaivoihin, suorittaa jätevesien puhdistamisen itse tai ostaa palvelun jätevedenpuhdis- tusyrytykseltä. Ympäristövaikutusten vähentämiseksi tuotantoon voidaan hyödyntää vuo- todetektoreja seuraamaan kemikaalipitoisten tuotannon vesien tai poistovesien vuotoja. Lisäksi tarvittaessa voidaan jälkikäteen suorittaa pilaantuneen maaperän puhdistus. Kaa- sutuotannon alkuvaiheessa kaasu joko poltetaan soihdussa, syötetään kaasuverkkoon tai hyödynnetään tuotannossa muuntamalla sähköksi.

Tuotantokaivosta kaasu toimitetaan putkilla tuotantolaitokseen, jossa kaasu jalostetaan käyttölaatuun. Kaasusta erotetut nestemäiset hiilivedyt eli NGL:t (Natural Gas Liquids) myydään kemian teollisuuden raaka-aineeksi. Jalostuksesta kaasu myydään keräysputkistoja pitkin siirtotoimijalle, joka säilöö kaasun keräysasemille. Keräysasemilta kaasun jakelu tapahtuu putkitoimituksina kuluttajalle, mikä vaatii kattavan putkistoinfrastruktuurin. Pitkien matkojen kaasuntoimituksiin tarvitaan lisäksi siirtoverkosto, jota varten kaasu paineistetaan. Vaihtoehtoisesti kaasu nesteytetään LNG:ksi ja toimitetaan säiliörekoilla, junilla tai laivoilla kuluttajalle, mikä vaatii nesteytyslaitoksen rakentamisen. Kaasuputkiston ylläpidossa voidaan hyödyntää kaasun vuotodetektoreita, joilla pystytään havaitsemaan mahdolliset vuodot ja korjata ne.

Mainittujen toimijoiden lisäksi tarvitaan tuotannon tukitoimijoita. Tuotanto tarvitsee lakipalveluita vaadittujen lupien käsittelemiseen. Tuottava teollisuus vaatii suuren määrän ammattitaitoisia työvoimaa. Lisäksi tuotantoa edeltäviin toimenpiteisiin tarvitaan rakennustyövoimaa tuki-infrastruktuurin rakentamiseen.

3.4 Biokaasu

Biokaasun tuotanto on kasvattanut suosiotaan, johtuen maiden välisistä sitoumuksista uusiutuvien energiamuotojen käytön lisäämiseen sekä orgaanisen jätteen käsittelyä koskevien, vähitellen voimaantulevien säädösten ansiosta. (IGU, 2012)

Biokaasu on anaerobisissa olosuhteissa, luonnollisesti tapahtuvassa orgaanisen aineksen mätänemisprosessissa syntyvä kaasuseos. Biokaasun pääkomponentit ovat metaani (CH_4), jonka osuus on tyypillisesti 35–65 % kaasusta ja lopun muodostaa hiilidioksidi (CO_2). Maakaasuun verrattuna biokaasun metaanipitoisuus on matalampi, joten energiasisältö on pienempi. Biometaanissa kaasu on rikastettu 95–97 %:iin metaania, jolloin sitä pidetään soveltuvana syötettäväksi kaasuputkistoon. Biokaasu soveltuu käytettäväksi samoihin käyttökohteisiin kuin maakaasu, kuten kaasuvoimalaitoksien tai liikenteen polttoaineeksi. Kuitenkin kaasun puhtausvaatimukset ovat tällöin korkeammat. Biokaasua tuotetaan ja otetaan talteen yleisimmin jätevesien puhdistuslaitoksista, kaatopaikoilta, kotitalouksien ja ruokateollisuuden biojätevirroista sekä eläinten lannasta. Näistä kohteista biokaasua on mahdollista saada tuotannon sivutuotteena. Metaanin talteenottoon kohteissa, joissa sitä syntyy luonnostaan, pyritään kaasun energiapitoisuuden lisäksi myös metaanin korkeasta ilmastomuutosvaikutuksesta johtuen. Biokaasua voidaan tuottaa mädä-

tyslaitoksissa ruoho- ja energiakasveista tai levistä. Biokaasun polttamisen kasvihuonekaasupäästöt on määritelty neutraaliksi. (IGU, 2012)

Keskustelua biokaasutuotannon ympärillä on herättänyt ravinnoksi soveltuvan biomassan hyödyntäminen energiaksi, ja ravinnoksi soveltumattomien energiakasvien biomassan kasvatuksen viemä peltotila eli kilpailu ruoantuotannosta. Tuotannon huomioitavia ympäristövaikutuksia ovat muun muassa maankäyttö, vedenkulutus, lannoitteiden käyttö ja tuotantoon käytetty energia. Orgaanisten jätteiden ja ruoaksi kelpaamattomien tuotannon sivutuotteiden hyödyntämiseen keskittyneitä biokaasun tuotantoa pidetään kestäväenä. Tällöin prosessissa saatetaan jätteitä energiana hyödynnettävään muotoon ja esimerkiksi mädätyksestä saatava sivutuotevirta soveltuu ravinteikkuutensa johdosta hyvin lannoitteeksi. (IGU, 2012)

Biokaasutuotannon kannusteet tulevat uusiutuvien energiamuotojen lisäämistarpeesta, mutta myös kotimaisen energian lisäämisestä ja energiaomavaraisuusasteen kasvattamisesta maissa, joilla ei ole omia energiaresursseja. (IGU, 2012) Euroopan Unionin 20-20-20 ilmastonmuutostavoitteet ovat pääohjaimena biokaasun käytön lisäämisessä EU:n alueella. Uusiutuvan energian käytön edistämisdirektiivin (2009/28/EC) tavoitteena on lisätä uusiutuvien osuutta vastaamaan 20 % energiankulutuksesta vuoteen 2020 mennessä. Lisäksi tavoitteena on lisätä liikenteessä käytetyn biopolttoaineen osuudeksi 10 %. Biokaasusta jalostettava biometaanin soveltuu hyvin tavoitteen saavuttamiseksi jo käytössä olevien bioetanolin ja biodieselin rinnalle. Toinen biokaasuntuotantoa edistävä tekijä on EU:n kaatopaikkadirektiivi (1999/31/EY). Pienentääkseen kaatopaikoilla syntyvän metaanin ilmastonmuutosvaikutusta, direktiivi edellyttää kaatopaikoille sijoitettavan orgaanisen jätteen vähentämistä vuoden 2005 tasosta 75 % vuoteen 2016 mennessä. Yhdysvalloissa biokaasun hyödyntäminen ja talteenotto eivät ole saaneet yhtä kattavaa poliittista kannatusta kuin Euroopassa. Vuonna 2010 U.S. Department of Agriculture yhdessä U.S. Environmental Protection Agency EPA:n kanssa loi kannustimia maanviljelijöiden ja karjankasvattajien biokaasun tuotantoon mädättämällä. Kiinnostus kuitenkin hiipui johtuen matalista energianhinnoista. (IGU, 2012)

Euroopassa yleisin biokaasun hyödyntämistapa on ollut muuttua se voimalaitoksissa sähköksi. Kehitystutkimukset ovat kuitenkin keskittyneet tuottamaan kustannustehokkaasti biometaanin, joka soveltuu syötettäväksi suoraan maakaasuverkkoon sekä korkealaatuisista, energiasisällöltään maakaasua vastaavaa polttoainetta käytettäväksi autoihin. Euroopan biokaasuenergiantuotanto on pitkään jakautunut seuraavasti: mädätyslaitokset 52 %, jotka tuottavat biokaasua kasvatetuista energiakasveista, kaatopaikkojen kaasunmuodos-

tus 36 % ja jätevedenpuhdistuslaitokset 12 % kaasuntuotannosta. Saksassa on kasvatettu mädätyslaitoskapasiteettia voimakkaasti vuodesta 2010 alkaen ja siellä tuotettiin vuonna 2012 maailmanlaajuisesta biokaasusta noin 50 %. Muutkin Euroopan maat ovat kasvatamassa omaa biokaasuteollisuuttaan. (IGU, 2012) International Gas Unionin tekemässä Renewable Gas 2012 -julkaisussa kommentoidaan, ettei biokaasun suuren mittakaavan tuotanto ja syöttö kaasuputkistoon, ole nykymuodossaan kannattavaa ilman sitä tukevaa kannustejärjestelmää. Saksassa, jossa ollaan pitkällä biokaasun kaupallisessa hyödyntämisessä, biokaasun hinta on noin 9 snt/kWh, kun maakaasun on 5-6 snt/kWh.

IEA:n Renewable Energy Outlook 2013 -skenaariossa bioenergian kulutuksen ennakoidaan kasvavan vuoden 2011 tasosta noin 25 % vuoteen 2035 mennessä. Merkittävimmän kasvun katsotaan tapahtuvan Kiinassa, Intiassa ja Brasiliassa, joissa kehittyvät uusiutuvien energiamuotojen lainsäädännöt edistävät esimerkiksi maanviljelyjätteen hyödyntämisestä puhtaasti palavaksi energiaksi. (IEA, 2013c)

3.5 Synteettinen maakaasu, SNG

Synteettinen maakaasu eli SNG (Synthetic Natural Gas) tuotetaan synteettisesti kaasuttamalla joko fossiilisista polttoaineista, kuten kivihilestä tai koksista, tai uusiutuvasta biomassasta. Kaasutuksella saadaan mikä tahansa kiinteä hiilipitoinen polttoaine muutetuksi useammaksi tuotteeksi: sähkötehoksi, kemikaaleiksi, liikenteen polttoaineiksi ja SNG:ksi. Syntetisoinnissa hiilimonoksidi ja vetykaasu reagoivat nikkelikatalyytin avulla metaaniksi ja vedeksi. SNG mahdollistaa kaasun tuotannon kotimaisista lähteistä maissa, joilla ei ole konventionaalisia tai epäkonventionaalisia maakaasuesiintymiä. (Higman & van der Burgt, 2009)

Yleisesti kaasutus on todella pääomavaltaista teknologiaa ja laitokset ovat suurinvestointeja. Kuitenkin polttoaineena laitoksessa voidaan hyödyntää edullisia ja vaihtelevia syötteitä. Tällöin SNG-tuotannon kustannusten ei tarvitse olla riippuvaista esimerkiksi fossiilisten polttoaineiden markkinahinnoista. SNG:n kannattavuutta lisäävät korkeat energianhinnat, jotka ajoivat kaasutusteknologioiden kehitykseen 2000-luvun alusta. Ennusteet viittasivat SNG-kapasiteetin kaksinkertaistumiseen välillä 2009–2014. (Higman & van der Burgt, 2009) Merkittävimmät SNG-projektit ovat Aasian markkinoilla, Kiinassa, Intiassa ja Etelä-Koreassa. Toisin sanoen maissa, joilla ei ole merkittävää maakaasuntuotantoa ja LNG-hinnat ovat olleet pitkään korkeat. Projektit ovat keskittyneet hiilestä-kaasuksi konversi-

oon. (Novak, 2012a) Kiinalla on tavoitteena lisätä kaasutuskapasiteettiaan 325 laitoksella vuoteen 2020 mennessä. Alhainen maakaasunhinta laskee SNG:n kannattavuutta, joten liuskekaasun vaikutukset ja potentiaali tuoda markkinoille suuria määriä maakaasua ovat hidastaneet SNG:n kehitystä erityisesti Pohjois-Amerikassa. (Novak, 2012b)

Kivihiiilen kaasutuksella SNG:ksi saavutetaan polttoaineen puhtaampi ja tehokkaampi palaminen sekä pienemmät kasvihuonekaasupäästöt. Näistä syistä johtuen, erityisesti voimalaitokset ovat osoittaneet suurta kiinnostusta kaasutusteknologiaan. Kaasuttamalla saadaan voimalaitosten hyödyntämästä kivihiilestä, joka on edullinen polttoaine, ympäristön kannalta hyväksyttävämpää. (Higman & van der Burgt, 2009) Puuperäisestä kuivasta biomassasta voidaan tuottaa kaasuttamalla synteettistä biokaasua, bio-SNG:tä. Raaka-aineena voi tällöin käyttää puu- ja hakkuujätettä, olkea ja tarkoituksella kasvatettua, lyhyen kiertoviljelyn pensaikkoa. Kaasun talteenoton jälkeen biomassasta voidaan jatkojalostaa useita erilaisia tuotteita, kuten bio-vetyä, metanolia ja Fischer-Tropsch–biodieseliä (FT). Biojalostamoilla on saavutettu korkeat tuotannon hyötysuhteet ja niistä saatua polttoainetta pidetään hiilineutraalina. Polttoaineena Bio-SNG:llä on samat ominaisuudet kuin maakaasulla eli se palaa puhtaasti ja tehokkaasti. (IGU, 2012)

VTT:llä oli käynnissä VETAANI-hanke, joka oli keskittynyt puuperäistä biomassaa hyödyntävän synteettisen maakaasun tuotantoprosessin tarkasteluun. (VTT, 2011) Lisäksi Suomessa on tarkasteltu 200 MW biojalostamon rakentamista sellutehtaan yhteyteen Joutsenoon. Jalostamossa sellutehtaan sivuvirtojen ylimääräinen metsähake ja kuori kaasutetaan maakaasua vastaavaan koostumukseen. Laitoksen rakentamisen on tarkoitus käynnistyä välillä 2017–2020. (Pöyry, 2013a) Ruotsissa Göteborg Energin kaupallisen mittakoon bio-SNG-laitos aloitti toimintansa vuonna 2013 ensimmäisten joukossa maailmassa. Toisen laitoksen on tarkoitus valmistua vuonna 2016. Valmistuttuaan laitokset korvaavat noin 30 % Göteborgin tuontienergian tarpeesta. Laitos hyödyntää raaka-aineenaan metsähaketta sekä biomassaa. Kyseisen laitoksen biometani hyödynnetään pääosin liikenteen polttoaineena, mutta muita käyttökohteita tarkastellaan. (Göteborg Energi, 2013) Ruotsissa ei ole maan kattavaa kaasuverkostoa, mistä johtuen laitokset kasvattavat bio-SNG käyttömahdollisuuksia vain länsirannikon paikallisputkiston kautta. Alankomaissa on käynnissä myös mittavat bio-SNG:n lisäyssiunnitelmat. Tutkimusta tehty pitkään ja ensimmäisen laitoksen on tarkoitus aloittaa toimintansa 2014.

Kaasutuksen merkitys matalahiilisen energian tarjoajana on huomattava, ja siirtyessä kohti hiili-vapaampaa tulevaisuutta, tarvitaan välvaiheita joihin kaasu energianvälittäjänä soveltuu hyvin. Kaasutuksella saadaan hiili ja öljy palamaan puhtaammin ja pienemmällä

kasvihuonekaasupäästöillä, jolloin tarve hiilidioksidin talteenotolle vähenee. SNG voidaan tuottaa kaasuttamalla jätteitä tai biomassaa, jolloin saadaan poistetuksi fossiilisten energianlähteiden tarve koko energiantuotantoketjusta. SNG:n kaasutusteknologioiden kehittyminen nähdään myös olennaisena välivaiheena vetytalouden kannalta, sillä kaasutus on yksi vedyn valmistusmenetelmistä. (Higman & van der Burgt, 2009)

3.6 Vety

Vedyn käyttäminen energianlähteenä on pitkään tunnustettu lupaavana mahdollisuutena, sillä se voidaan mieltää puhtaaksi ja rajattomaksi energialähteeksi. Teknologia on vielä kehitysvaiheessa ja rajoitteina on todettu haasteet vedyn tuotannossa ja varastoinnissa sekä käyttöinfrastruktuurissa ja käytössä. Vedyn putkisto- ja varastointikustannuksien sanotaan yleisesti olevan verrattavissa maakaasun vastaaviin investointeihin. Vedyn tuotanto on toistaiseksi paljon kalliimpaa kuin olemassa olevien polttoaineiden. Lisäksi vedyn hyödyntäminen tapahtuu muun muassa polttokennoilla, joiden teknologia ei ole vielä kypsää ja laitehinnat ovat pysyneet korkeina. (Sørensen, 2012)

Vety on maailmankaikkeuden yleisin alkuaine, sitä on noin 90 % kaikesta aineesta. Vetykaasulla on erittäin korkea lämpöarvo, noin 119 MJ/kg, verrattaessa sitä esimerkiksi maakaasun 38–50 MJ/kg tai bensiinin 43 MJ/kg lämpöarvoihin. Kuitenkin vedyn energiatiheys on matala, mikä asettaa hyödyntämiselle vaatimuksia. Vedyn käyttömahdollisuudet ovat laajoja, sillä vetyä voi hyödyntää sähköntuotannossa, polttoaineena ja energian välivarastona. (Sørensen, 2012) Vedyn kemiallinen energia saadaan muunnetuksi sähköksi polttokennojen avulla. Vety ja hapettimena toimiva ilman happi syötetään polttokennoon, josta sähkökemiallisen reaktion lopputuotteena muodostuu sähköenergiaa ja vettä sekä vapautuu lämpöä. (Sørensen, 2012) Vedyn käyttäminen liikenteen polttoaineena polttokennojen avulla on osoittautunut lupaavaksi vaihtoehdoksi korvaamaan liikenteen fossiilisia polttoaineita. Vedyn hyödyntäminen sellaisenaan liikenteen polttomoottoreissa on todettu olevan mahdollista, mutta se soveltuu parhaiten suuriin moottoreihin kuten busseihin ja rekoihin. (Sørensen, 2012) Kuten maakaasunkin, vedyn kuljetus tapahtuu yleisimmin nesteytettynä tai paineistettuna, johtuen matalasta energiatihydestä. Vetyvuodot ovat haasteena niin siirrossa kuin säilytyksessä. (Sørensen, 2012) Vety on erittäin helposti syttyvä kaasu, ja puristettu vety voi syttyä vuototilanteessa näennäisesti itsestään, johtuen vuotokohdan staattisista varauksista. Tämä vaatii huomiota turvallisuuskysymyksiin. (Työterveyslaitos, 2003)

Vedyn merkittävimmät tuotantoreitit ovat vedestä elektrolyysillä, maakaasun höyryreformoinnilla tai kaasutuksella, minkä avulla voidaan tuottaa vetyä kaikista hiilivedyistä kivihii-
lestä biomassaan. Vetyä syntyy myös luonnollista reittiä kemosynteesissä, biokemiallisissa hapetusprosesseissa kuten fermentaatioissa ja muussa bakteerien tai levien vaikutuksesta tapahtuvassa orgaanisen aineksen pilkkoutumisessa. Teollisen mittakaavan sovel-
lus fermentaatioreitistä on olemassa, mutta vety ei ole tässä sen lopputuotteena. (Sørensen, 2012) Tuotettaessa vetyä vedestä sähköllä eli elektrolyysireittiä, menetelmän kannat-
tavuus on toistaiseksi riippuvainen sähköhinnasta. Tämä kuitenkin tarjoaa mahdollisuuden hyödyntää sähköä uusiutuvista energianlähteistä. (Sørensen, 2012)

Vedyn ympäristövaikutukset ovat pieniä, sillä poltettaessa puhdasta vetykaasua saadaan lopputuotteena vesihöyryä. Kokonaisilmastovaikutukseen tulee huomioida, mitä polttoai-
neita ja energianlähteitä vedyn tuotantoon on hyödynnetty. Fossiililla polttoaineilla val-
mistetun vedyn hiilijalanjälki kasvaa, kun taas uusiutuvilla energialähteillä se jää vähäi-
seksi. (Sørensen, 2012)

Vetyteknologia on kypsymissivaiheessa, ja aiheeseen liittyy vielä paljon avoimia kysymyk-
siä. Kuitenkin teknisten haasteiden ratkaisemisen todetaan olevan pääasiassa ajan kysy-
mys. Teknologia löytää ratkaisuja kypsyessään ja hinnat laskevat tuotannon kasvaessa. Sosiaalisena haasteena on kokonaan uuteen energiamuotoon perustuva järjestelmä, joka
vaatii paljon investointeja. Energia on myös voimakkaasti poliittinen kysymys ja fossiilisten
polttoaineiden ympärille rakennetut yhteiskunnat eivät ole kaikki valmiita siirtymään koko-
naan uuteen järjestelmään. (Sørensen, 2012) Kuitenkin on maita, joissa teknologia on jo
tässä vaiheessa kilpailukykyisempää toteutua. Japanin Fukuokasta ollaan rakentamassa
maailman ensimmäistä demonstraatio vetytaloutta. Fukuokan asuinrakennuksiin tulee
polttokennot, alueen autot toimivat polttokennoilla ja näiden vedynsaantia tukemaan tulee
vetyasemia ja 10 km vetyputkisto. Projektiin sitoutuneet yritykset ovat jo saaneet laskettua
yksityishenkilöiden käyttöön tarkoitettujen polttokennojen kustannuksia. Valtio tukee yksi-
tyishenkilöiden polttokennoinvestointeja, joita oli vuoteen 2012 tehty noin 20 000 kappalet-
ta. Fukuokassa on vuodesta 2013 toiminut puuhaketta raaka-aineena käyttävä kaasutin,
josta saadaan puhdasta vetykaasua polttoaineeksi. Lisäksi tavoitteena on hyödyntää alu-
een teollisuuden sivutuotteena saatavaa vetyä. Fukuokan kaupungin on tarkoitus kauppa-
listaa vetytalousratkaisunsa koko Japanin kattavaksi. (Aso, 2013) Vetytalouden pilotointi
on tunnistettu merkittävänä globaalina kilpailukykyyn edistäjänä. Japanissa merkittävänä
edistäjinä ovat olleet kallis tuonti-LNG sekä vaihtoehtoisten energialähteiden etsiminen
Fukushiman vuoden 2011 onnettomuuden jälkeen, joka ajoi merkittävän osan maan ydin-

voimasta alas. Tanskan Lollandin saarelle rakennettiin vuonna 2007 vedyn demonstraatiotuotantolaitos, jossa vety tuotetaan elektrolyysireittiä tuulivoimalla. Vedyn hyödyntäminen tapahtuu asuntoihin asennetuilla pienen mittakoon yhdistetyllä lämmön- ja sähköntuotantolaitoksilla, jotka toimivat samalla demonstraatiohankkeena. Tulevaisuudessa Lollandin vedyn hyödyntäminen on tarkoitus laajentaa Euroopan ensimmäiseksi koko alueen kattavaksi vetytaloudeksi. (DAC, 2014)

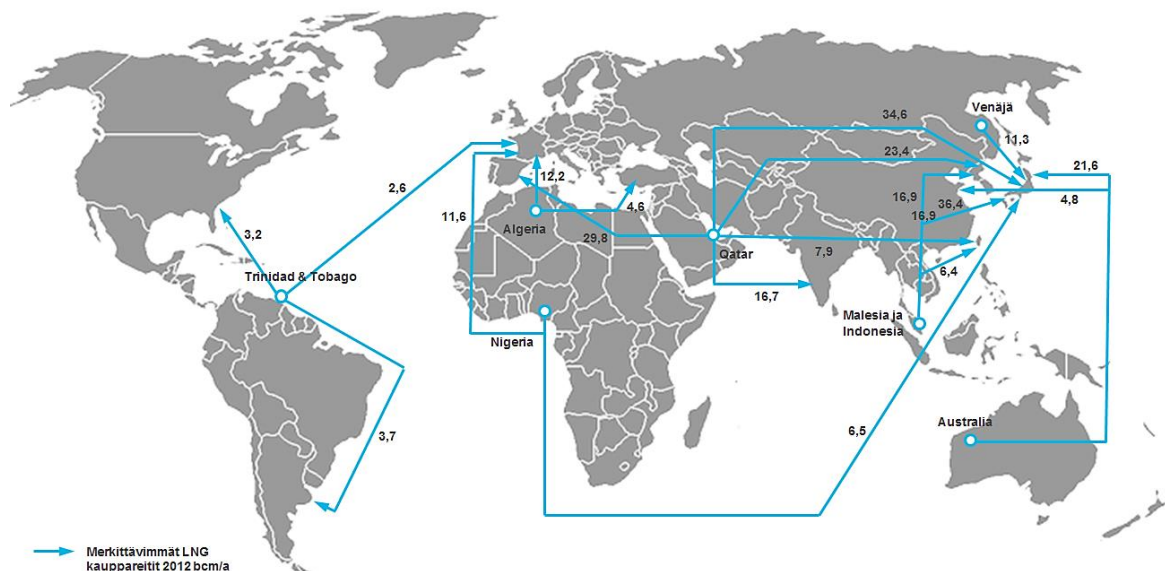
Mielenkiintoinen vetysovellus on sen hyödyntäminen energian varastointiin uusiutuvien energiamuotojen yhteydessä, sillä akkuteknologia on ollut pitkään haasteena uusiutuvien laajamittaisessa kehityksessä. Kompressoituja vetysäiliöitä nähdään olevan mahdollista hyödyntää niin teollisen mittakaavan kuin kotitalouksienkin esimerkiksi aurinkokennoilla tuotetun energian välivarastointiin. Polttokennoteknologian kehittyessä, jopa yksittäiset kotitaloudet voivat muuntaa vetyä sähköksi omaan käyttöönsä. (Sørensen, 2012) Vety yhdistettynä polttokennoteknologiaan, soveltuu myös verkon ulkopuolella tapahtuvaan hajautettuun sähköntuotantoon. (Sørensen, 2012) Yksi suurista haasteista vedyn läpilyöntiin on laajan kaasunkuljetus- ja käyttöinfrastruktuurin kasvaminen. Kaasun käytön laajalajaisen yleistymisen nähdään johtavan myös kaasuinfrastruktuurin kasvamiseen, mitä kautta se edistää myös vetytaloutta.

3.7 Nesteytetty maakaasu, LNG

Nesteytetty maakaasu eli LNG (Liquefied Natural Gas) on mahdollistanut maakaasun, pääosin paikallisen hyödykkeen, kuljettamisen ja hyödyntämisen maissa ja alueilla, joilla ei ole kattavaa kaasuinfrastruktuuria tai omia kaasuvarantoja. Yhä useampi maa kehittää uusia ja olemassa olevia LNG-toimitusketjuja, johtuen energian huoltovarmuuden ylläpitämisestä ja kasvattamisesta, epävarmuuksista nykyisissä maakaasuhinnoissa, kasvavasta ulkomaisen energian tarpeesta ja siirtyäkseen suurimmissa määrin puhtaamman ja joustavan energialähteen käyttöön. (Wood, 2012) LNG-tuonti vapauttaa poliittisesti arat riippuvuussuhteet putkia pitkin rajoitetuista maakaasun toimituksista. Euroopassa Venäjä on dominoinut maakaasun putkitoimituksia ja se sulki vuoden 2008 talvella Ukrainan läpi menevän kaasuputkiston maksamattomien laskujen takia, aiheuttaen merkittävänä kaasuntoimittajana kaasukriisin Keski-Eurooppaan. (Wyciszkievicz, 2009)

Gloaalien LNG-markkinoiden vuosittainen kasvu on ollut 7,2 % aikavälillä 1990–2010. (BP, 2013a) Suurin osa LNG-viennistä on suuntautunut Itä-Aasian markkinoille. Suurinta

kasvua viennissä on ennakoitu tulevaisuudessa olevan Kiinaan sekä Intiaan, johtuen maiden vaurastumisesta ja kasvavasta teollisuuden energian tarpeesta. Yhdysvalloissa tuonti kasvoi vuodesta 1990 tasaisesti vuoteen 2007, jolloin liuskekaasuvallankumous laski kotimaisen kaasun hintaa merkittävästi ja puolitti tuontikaasun tarpeen. Nyt Yhdysvaltojen LNG-teollisuus onkin suunnittelemassa siirtymistä tuontiteollisuudesta vientiteollisuuteen. Liuskekaasun hyödyntämisestä tullessa teknisesti mahdollista, se tulee potentiaalisesti tuomaan uusia toimijoita kaasumarkkinoille, kasvattaen samalla LNG-markkinoita. Liuskekaasutuotanto tulee lisäämään alan kilpailua ja mahdollisesti laskemaan LNG:n hintoja. Vuonna 2011 LNG-markkinoilla toimi 26 vientimaata ja 27 maata harkitsi investoimista uusiin tuontilaitoksiin. (Wood, 2012) Merkittävimmät nykyiset LNG-kauppareitit on esitetty Kuvassa 4.



Kuva 4. Merkittävimmät LNG-kauppareitit ja viennin suuruus vuodessa (bcm/a). (BP, 2013a)

Maailman suurin LNG-vientimaa on Qatar, joka vastaa yli 30 % kaikesta LNG-liikenteestä. Muut merkittävät vientimaat ovat Malesia, Australia, Indonesia ja Nigeria, jokainen vajaalla 10 % osuudella. 70 % LNG-viennistä on suuntautunut Aasiaan, jossa suurimpana ostajana on Japani 36,2 % osuudella globaalista tuonnista. (BP, 2013a) Etelä-Amerikan tuontimarkkinat ovat valmistautuneet LNG-tuonin aloittamiseen. Argentiina, Chile ja Brasilia ovat investoineet LNG-infrastruktuuriin taatakseen luotettavan energiansaannin ja edistääkseen sillä talouskasvua. (Wood, 2012) Taulukossa 2 on esitetty kymmenen suurinta LNG-vienti- ja -tuontimaata sekä niiden osuudet globaalista LNG-viennistä.

Taulukko 2. Kymmenen suurinta LNG-vienti- ja -tuontimaata 2012 (BP, 2013a)

Merkittävimmät LNG-vientimaat	Vuosittainen vienti (bcm/a)	Osuus globaalista LNG-viennistä (%)
Qatar	105,4	32,1
Malesia	31,8	9,7
Australia	28,1	8,6
Nigeria	27,2	8,3
Indonesia	25,0	7,6
Trinidad & Tobago	19,1	5,8
Algeria	15,3	4,7
Venäjä	14,8	4,5
Oman	11,2	3,4
Brunei	9,1	2,8

Merkittävimmät LNG-tuontimaat	Vuosittainen tuonti (bcm/a)	Osuus globaalista LNG-tuonnista (%)
Japani	118,8	36,2
Etelä-Korea	49,7	15,2
Espanja	21,4	6,5
Intia	20,5	6,3
Kiina	20,0	6,1
Taiwan	16,9	5,2
Iso-Britannia	13,7	4,2
Ranska	10,3	3,1
Turkki	7,7	2,3
Italia	7,1	2,2

Historiallisesti LNG-toimitukset ovat perustuneet kahdenvälisiin pitkäaikaissopimuksiin. Viime aikoina toimijat ovat kuitenkin pyrkineet joustavampiin sopimuksiin ja toimituksiin. Yritykset ovat toimittaneet kaasua asiakkaille heidän kulutustarpeensa mukaan, ei pitkäaikaissopimuksiin perustuen. Tämä on kasvattanut kyseisten kaasuntoimittajien markkinaosuutta. Useat suurista öljy- ja kaasuyhtiöistä ovat alkaneet kehittää pitkäaikaisia LNG-toimitusketjuja. Yritykset ovat tehneet suuria investointipäätöksiä laitosten laajentamiseksi sekä käynnistäneet uusia laitosprojekteja LNG:n tuonnin, kuljetuksien ja viennin kehittämiseksi. Myös useita uusia pientoimijoita, joilla on liuskekaasuvarantoja, on investoinut

LNG-liiketoimintaan kilpailukykyensä parantamiseksi. (Wood, 2012) LNG-toimintoja on käsitelty lisää kappaleissa 5.6 Yhdysvaltojen kannalta ja 6.3.1 Euroopan kannalta.

3.8 Kaasunhinnankehitys

Vuosikymmenien ajan maakaasua on maailmanlaajuisesti myyty 20 vuoden sopimuksilla, jotka ovat indeksoituja öljyn hintaan. Kaasuntuottajamaat eivät ole halunneet purkaa sidosta, voidakseen pitää hyödykkeen hinnan korkealla. Merkittävimmin kaasun lopulliseen hintaan vaikuttavat kaasun tuotannon kustannukset, infrastruktuuri-investoinnit, markkinoiden rooli sekä maakohtainen verotus. (Gillardoni, 2008)

Nykyinen kaasunhinnoittelujärjestelmä alkoi 1970-luvulla japanilaisten yritysten alkaessa tuoda maahan suuria määriä LNG:tä pitkillä sopimuksilla. JCC on yleinen indeksi Japanin, Korean ja Taiwanin raakaöljytuotteiden pitkäaikaistoimitussopimuksille. Venäjän putkitoimitukset Eurooppaan on myös indeksoitu öljyn hintaan. Yhdysvaltojen markkinahinnat määräytyvät putkitoimitusten Henry Hub hinnan mukaan, jotka eivät ole valtion säätelemiä. (Wang, Q. et al. 2014) Toisin sanoen kaasulle ei ole yhtä maailmanlaajuista markkinahintaa. Esimerkiksi vuonna 2012 Yhdysvaltojen kaasunhinta liikkui välillä \$2-3/mmbtu, kun Euroopan pitkäaikaissopimusten hinnat olivat keskimäärin \$12/mmbtu ja Aasian LNG-hinnat peräti \$18/mmbtu. Yhdysvaltojen matala kaasunhinta johtuu siitä, että liuskekaasun ansiosta tuotanto kasvoi voimakkaasti lyhyessä ajassa, mutta kulutus ei ehtinyt kasvaa vastaamaan markkinoille tulleen kaasun määrää. Puolestaan Aasian markkinoilla Fukushima ydinonnettomuus keväällä 2011 johti siihen, että Japani ajoi alas lähes kaikki ydinvoimalansa, jolloin LNG:n tarve kasvoi voimakkaasti lyhyessä ajassa. Oletettavaa on, että maakaasun hinnat tasoittuvat jonkin verran nykyisestä tilasta. (Henderson, 2012) Yhdysvalloissa toimiva kaasuyritys Cheniere on rakentamassa LNG-terminaalia, jonka on tarkoitus valmistua 2015. Yrityksen suunnitelmissa on myydä maakaasu indeksoituna Henry Hub putkitoimitusten markkinahintaan, mikä on ensimmäinen kerta kun kaasunhinta ei ole indeksoitu raakaöljynhintaan. (Wang, Q. et al. 2014)

Liuskekaasun tuotannon kannattavuuteen vaikuttaa maakaasun hinta sekä raakaöljyn hinta. Märät liuske-esiintymät sisältävät merkittäviä pitoisuuksia raakaöljyä, kondensaatteja tai kevyitä hiilivety-yhdisteitä eli NGL (natural gas liquids), jotka lisäävät poraamisen taloudellista kannattavuutta merkittävästi. (Wang, Q. et al. 2014) Kaasunhinnan laskettua kasvaneesta tuotannosta johtuen vuonna 2013 alle \$3/mmbtu, kuivien kaasuesiintymien

poraaminen ei ollut enää kannattavaa, vaan tuotanto siirtyi keskittymään märkeen liuske-esiintymiin. (DOE, 2014)

3.8.1 Tuotannonkustannukset: Maakaasu ja liuskekaasu

Taloudellisesti hyödynnettävät maakaasuvarat ovat niissä esiintymissä, joissa kaasu pystytään tuottamaan taloudellisesti kannattavasti, sen hetkiset markkinaolosuhteet huomioidaan ottaen. Kaasuesiintymillä tämä tarkoittaa kolmea tekijää: porauksen sekä kaivojen viimeistelyn kustannukset, keskimääräinen kaivon elinkaaren kaasuntuotto ja kaasuntuotannosta saatu kaasun yksikköhinta. (EIA, 2013)

Maakaasutuotannon kustannukset vaihtelevat laajasti esiintymästä riippuen. Suuren esiintymän hyödyntämisessä tuotantokustannukset tuotettua kaasuyksikköä kohden saadaan laskemaan, kun haastavan tai pienen esiintymän hyödyntämisessä kustannukset kaasuyksikköä kohden nousevat. Manneralueilla tapahtuva konventionaalisten maakaasuesiintymien hyödyntäminen on yleisesti edullisempaa kuin merenpohjasta tapahtuva. Hyödyntämistekniikoiden kehittyessä tuotanto saadaan laajennetuksi kannattavasti myös pienempiin esiintymiin ja hankalampiin olosuhteisiin. (Pirilä, 2009)

3.8.2 Kaasun vienninkustannukset

Kaasun putkikuljetuksen kustannukset muodostuvat putki-infrastruktuurin rakentamisinvestoinneista sekä kaasun kompressointilaitteistosta. Putki-infrastruktuuri voidaan jakaa kahteen tyyppiin: jakeluverkostoon, joka on tarkoitettu lyhyiden matkojen putkikuljetuksille ja siirtoverkostoon, joka soveltuu pitkien matkojen kaasunsiirtoon. Laajojen putkistoinfrastruktuurien rakentaminen on kallista ja aikaa vievää johtuen ympäristövaatimuksista, turvallisuussäädöksistä ja mahdollisista geopoliittisista rajoitetekijöistä. Putki-infrastruktuurin kustannukset vaihtelevat riippuen putkiston pituudesta ja maaston mukaisesta kertoimesta. (Schoots et al. 2011)

Kaasun LNG-viennin kustannukset muodostuvat nesteytyksen ja uudelleenkaasutuksen kuluista sekä kuljetuskustannuksista. Nesteytys- ja uudelleenkaasutuslaitokset ovat suuria investointeja, joiden rakennuskustannukset jakautuvat niissä prosessoidun kaasun vientikustannuksiin kiinteänä kustannuksena. Tyypillisesti LNG-arvoketjun kokonaiskustannuksista muodostuu kaasuntuotannossa 15-20 %, nesteytyksessä 30-45 %, kuljetuskustannuksissa 10-30 % ja tuontisatamassa uudelleenkaasutuksessa sekä säilytyksessä 15-25%. (DOE, 2005) Yhdysvaltalainen kaasuyritys Cheniere on arvioinut nesteytyksen kus-

tannuksiksi \$3/mmbtu ja uudelleenkaasutuksen kustannuksiksi \$0,4/mmbtu. Muuttuvat kustannukset ovat kaasun Henry Hub eli markkinahinta ja kuljetusmatkasta riippuvat kuljetuskustannukset. Esimerkiksi kuljetus Eurooppaan Atlantin yli maksaa \$1,3/mmbtu ja Aasiaan Tyynen valtameren yli \$3,0/mmbtu. (Henderson, 2012)

Tuotantomaa kaasun markkinahinta verrattuna vientimaa markkinahintoihin, voidaan ajatella määrittävän LNG-viennin kannattavuuden. Taulukossa 3 on esitetty kokonaiskuljetuskustannusten ja muuttuvan Henry Hub hinnan vaikutukset kaasun lopulliseen hintaan. Kaasun hinta Euroopassa liikkui vuosina 2011–2014 välillä \$10–12/mmbtu ja Japanissa \$14–16/mmbtu. (World Bank, 2014) Verratessa taulukossa esitettyjä hintoja eri markkinahintoihin, nähdään että Eurooppaan olisi kannattavaa tuoda Yhdysvalloista maakaasua, kun sen Henry Hub hinta pysyy alle \$5/mmbtu. Aasiaan LNG-tuonti pysyy kannattavana kun Henry Hub hinta on alle \$9/mmbtu.

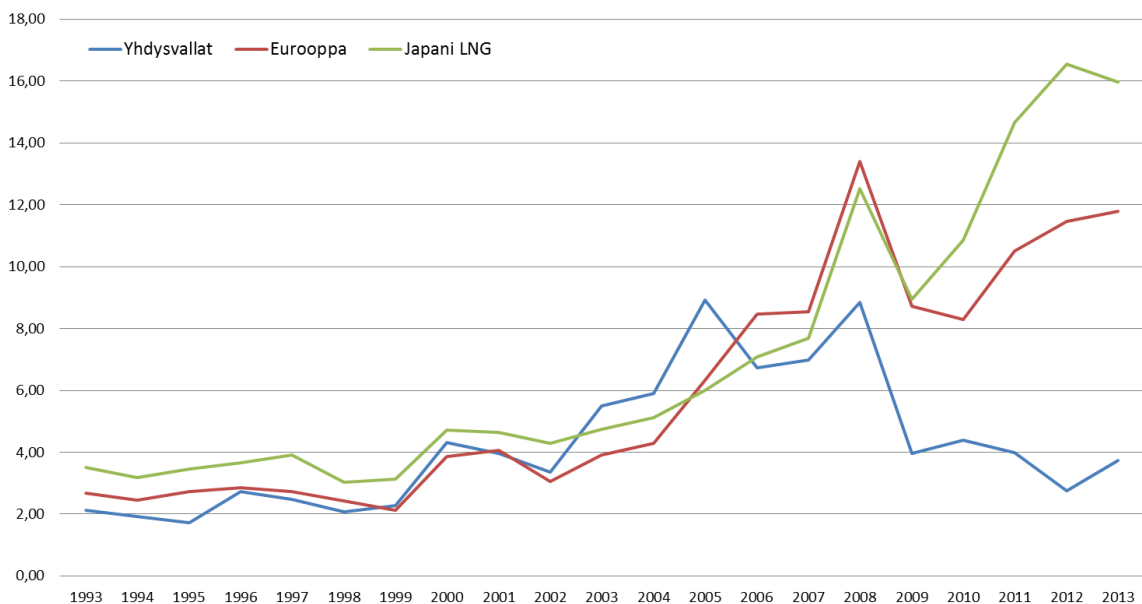
Taulukko 3. LNG-tuontikustannukset Eurooppaan ja Aasiaan (Henderson, 2012)

Henry Hub hinta (\$/mmbtu)	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nesteytys	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Kuljetus Eurooppaan	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Kuljetus Aasiaan	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Uudelleenkaasutus	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Hinta Euroopassa	6,7	7,7	8,7	9,7	10,7	11,7	12,7	13,7	14,7
Hinta Aasiassa	8,4	9,4	10,4	11,4	12,4	13,4	14,4	15,4	16,4

Arvioita liuskekaasutuotannon vaikutuksien tasoittumisen jälkeisestä Yhdysvaltojen kaasun Henry Hub markkinahinnasta on tehty lukuisia tutkimuksia. Kaikissa arvioissa hinta tulee nousemaan vuoden 2013 tasosta, jolloin se oli noin \$3/mmbtu. Teksasin Rice Universityssa tehdyn tutkimuksen perusteella, Henry Hub hinta pysyy välillä \$4-6/mmbtu seuraavien muutaman vuosikymmenen ajan. Kyseisellä hintatasolla pystytään kannattavasti hyödyntämään valtaosaa tällä hetkellä todennetuista hyödynnettävistä varoista (Medlock, 2012) ja LNG-vienti ainakin Aasian markkinoille on kannattavaa. Kuten aiemmin mainittiin, on myös oletettavaa että eri markkinoiden maakaasuhintojen erojen osittain tasoittuvan nykyisestä.

3.9 Liuskekaasun vaikutus maakaasumarkkinoihin

Kaasun alueellisissa markkinahinnoissa on vuodesta 2008 esiintynyt merkittävää poikkeavuutta, johtuen Yhdysvalloissa alkaneesta liuskekaasutuotannosta. Kuvassa 5 on esitetty maakaasun hinnan muutokset vuodesta 1993, vertaamalla Yhdysvaltojen, Euroopan ja Japanin maakaasun yksikköhintoja (\$/mmbtu). Vuoteen 2007 asti hinnat jatkoivat kasvuaan samalla nopeudella, minkä jälkeen Yhdysvaltojen kaasun hinnat ovat alkaneet laskea suhteessa muiden markkinoiden hintoihin. Vuoden 2012 ensimmäisellä puoliskolla, maakaasun hinta Yhdysvalloissa oli vain noin 30 % Länsi-Euroopan ja 20 % Aasian hintatasosta. (World Bank, 2014) Maakaasun hinta on historiallisesti ollut indeksoituna raakaöljyn hintaan, mikä on pitänyt globaalin kaasunhinnan korkealla. Globaaleihin energiamarkkinoihin merkittävä vaikutus on ollut liuskekaasun aiheuttama raakaöljyn ja maakaasun hintojen eroaminen toisistaan, mikä suurella todennäköisyydellä tulee laskemaan maakaasun hintaa maailmanlaajuisesti. (Weijermars, 2013) Kaasuyritys Cheniere indeksoi 2008 ensimmäisenä kaasunhinnan Henry Hub spot-hintaan, mistä johtuen LNG-kustannusten jälkeenkin, Aasiaan toimitetun kaasun hinta saadaan laskemaan puoleen tämän hetken pitkäaikaistoimitussopimusten hinnoista. (Wang, Q. et al. 2014)



Kuva 5. Maakaasun alueelliset hinnat 1993–2013, \$/mmbtu (World Bank, 2014)

Liuskekaasu on jo vaikuttanut maakaasun markkinahintoihin tuomalla lisää hyödykettä markkinoille. Yhdysvallat on ollut kasvava LNG:n tuontimaa, mutta alkaneesta liuskekaasutuotannosta johtuen markkinoille on vapautunut ylijäämä LNG:tä ja putkikaasua. Erityisesti vapautunut LNG aiheuttaa hintakilpailua, sillä se on globaali hyödyke millä on potentiaalia laskea maakaasun markkinahintoja muuallakin. Uusien maiden aloittaessa omien

liuskekaasuvarantojensa hyödyntäminen, jää niiden tarvitsema tuontimaakaasu vastaavalla tavalla vapaille markkinoille. Pidemmällä aikajänteellä voidaan olettaa liuskekaasutuotannon johtavan siihen, että uudet maat aloittavat kaasun LNG- tai putkiviennin. Tämä kuitenkin vaatii riittävän suuret varannot ollakseen kannattavaa. Varantojen hyödyntäminen vaatii myös teknistä osaamista sekä resursseja. Putkitoimituksia varten täytyy rakentaa putki-infrastruktuuri ja LNG vaatii suuret investoinnit nesteytyslaitoksiin.

Yhdysvalloissa U.S. Department of Energy (DOE) kontrolloima vientilupien määrä rajoittaa toistaiseksi amerikkalaisen vientimaakaasun määrää. Viennin alkuvaiheessa, voi olettaa markkinoiden kysynnän olevan markkinoille tulevan maakaasun tarjontaa suurempi, johtuen Yhdysvaltojen edullisesta maakaasuhinnasta. DOE:n vientiskenaarioiden pohjalta tehtyjen mallien perusteella Arora ja Yiong toteavat (Arora & Yiong, 2014), että Yhdysvaltojen LNG-viennin kasvaessa maakaasun hinnat nousevat kotimaassa, jolloin maakaasun kulutus todennäköisesti laskee. Kasvaneen maakaasun tarjonnan vaikutus globaaleihin markkinoihin puolestaan laskee Euroopan ja Japanin maakaasun hintoja ja kasvattaa maakaasun kulutusta Yhdysvaltojen ulkopuolella. Kasvaneen kaasunviennin nostamat kaasuhinnat tulevat pitämään Yhdysvaltojen liuskekaasutuotannon kannattavampana ja tuotannon käynnissä. Esimerkiksi 2013 kaasun markkinahinnan laskiessa Yhdysvalloissa alle \$3/mmbtu, ei ollut kannattavaa porata kuivia kaasuesiintymiä, vaan tuotanto siirtyi märkiin esiintymiin ja itse kaasuntuotanto hidastui. (DOE, 2014)

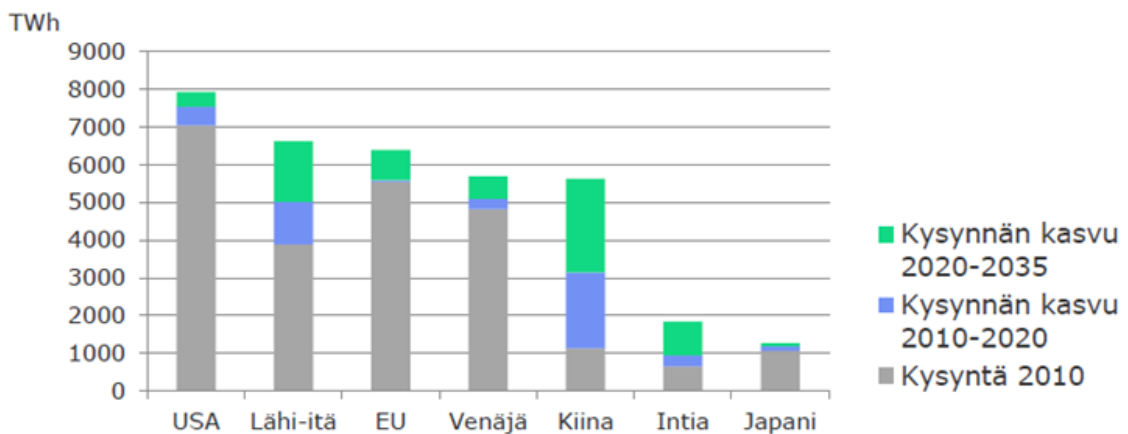
Pöyryn 2013 tekemän tutkimuksen perusteella, Euroopan liuskekaasun tuotanto tulisi laskemaan maakaasuhintoja Euroopassa, tapahtuessaan joko suuremmassa (33 % teknisesti hyödynnettävistä kaasuvaroista) tai vähäisemmässä (18 % teknisesti hyödynnettävistä kaasuvaroista) tuotantoskenaariossa. (Pöyry, 2013b)

3.10 Tulevaisuuden maakaasutrendejä ja liuskekaasun vaikutus

Globaalina energiatrendinä on energian kulutuksen kasvu ja maakaasun osuuden kasvu primäärienergianlähteenä. Maakaasun kulutuksen ennustetaan kasvavan 26 % nykyisestä vuoteen 2030 mennessä. (IEA, 2014). Maakaasun osuus koko maailman primäärienergianlähteistä vuonna 2011 oli 21,3 % (IEA, 2013b) ja vuonna 2030 sen ennustetaan olevan noin neljäsosan. Kulutuksen kasvun katsotaan aiheutuvan pääosin kaasun hyödyntämisestä sähköntuotannossa, mutta myös lisääntyvästä asuinrakennusten ja teollisuuden kaasun kulutuksesta. (Gillardoni, 2008) Useiden maiden motivaationa kasvattaa maaka-

sun kulutustaan ovat sen muihin fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna pienemmät kasvihuonekaasupäästöt. Liuskekaasutuotannon aloittamisen motivaationa on mahdollisuus lisätä sillä kotimaisen energian osuutta ja energianhuoltovarmuutta. Liuskekaasu vaikuttaa koko ajan pitkäkestoisemmalta trendiltä ja sen on arveltu pitävän kaasun- ja energianhinnan matalalla vähintään muutaman vuosikymmenen ajan. (Brookings, 2014)

Kuvassa 6 on esitetty maailman maakaasun kysyntä vuonna 2010 ja alueelliset kasvunusteet vuosille 2020 ja 2035. Nähdään, että maakaasun kulutuksen kasvun oletetaan siirtyvän nouseviin Aasian talouksiin. IEA:n World Energy Outlookin mukaan suurin kasvu aiheutuu Kiinasta, jossa kysynnän kasvu on vuositasolla 6,6 % ja joka lähes viisinkertaistaa kaasunkulutuksensa vuoteen 2035 mennessä. (Gasum, 2013) Kiinalle merkittävä tekijä kaasun lisäämiseen on sen kivihiltä puhtaampi palaminen ja siten saavutettavissa oleva parempi ilmanlaatu.



Kuva 6. Maakaasun vuosittainen kysyntä alueittain (Gasum, 2013, IEA, 2012)

Euroopan konventionaaliset maakaasuvarannot vähenevät nopeasti ja Länsi-Venäjän tuotanto vähenee varantojen pienetessä. Pohjois-Amerikassa tuotanto on puolestaan kasvanut merkittävästi liuskekaasuvarantojen hyödyntämisen myötä. Euroopan vähenevä maakaasuntuotanto ja esimerkiksi maakaasun tarjoamat mahdollisuudet vähentää sähköntuotannon kasvihuonekaasupäästöjä ajavat kasvaneeseen maakaasun LNG- ja putki- tuontiin.

Liuskekaasuresurssit ovat kasvattaneet tuntuvasti uusien maiden kaasuvarantoja ja liuskekaasutuotannolla tulee olemaan merkittävä vaikutus tulevaisuuden energiamarkkinoihin. Uusien toimijoiden tullessa markkinoille, muuttuu maakohtainen tasapaino kaasunviennin ja kotimaisen käytön välillä merkittäväksi kysymykseksi. Parantaako yksittäinen maa kilpailukykyään edullisella polttoaineella ja kasvattaa energiaomavaraisuuttaan, vai

aloittaako se kaasunviennin? (Gasum, 2013) Maat, joilla kaasuntuotanto jää pieneksi tai kulutus kasvaa, saattavat kuluttaa kaiken tuottamansa kaasun kotimaassa, jolloin vientiä ei muodostu. Vaikka yksittäinen maa ei aloittaisikaan kaasunvientiä, vähentää kotimainen energianlähde tuontienergian, joko maakaasun tai muun lähteen, tarvetta, jolloin vanhat tuontienergiat vapautuvat markkinoille. Taulukossa 4 on esitetty 10 maata, joilla on arvioitu olevan suurimmat liuskekaasuresurssit sekä kyseisten maiden vuosittainen maakaasunkulutus. (EIA, 2013b) Taulukosta nähdään yksittäisten maiden varantojen merkitys kokonaisresursseista. Voidaan olettaa, että kehittyvät maat, joiden maakaasun vuosikulutus on ollut todella vähäistä tähän asti, kuten Kiina ja Brasilia, tulevat kasvattamaan maakaasun kulutusta nykyisestä. Liuskekaasunvienti käynnistyy todennäköisesti maissa, joissa maakaasua ei tulla tarvitsemaan yhtä kasvavissa määrin kuin varannot riittävät, kuten Argentiinassa, Algeriassa ja Etelä-Afrikassa. Esimerkiksi Argentiinassa kuitenkin poliittinen epävakaus estää toistaiseksi viennin alkamista.

Taulukko 4. 10 maata, joilla suurimmat liuskekaasuvarannot ja niiden riittävyys (EIA, 2013b, BP 2013a)

Maa	Teknisesti hyödynnettävät resurssit (bcm)	Osuus globaaleista varannoista (%)	Maakaasun vuosikulutus (bcm/a)	Liuskekaasuvarantojen riittävyys (a)
Kiina	31 573	15,3		115 274
Argentiina	22 710	11,0		38 599
Algeria	20 020	9,7		25 808
Yhdysvallat	18 831	9,1		579 33
Kanada	16 225	7,9		81 201
Meksiko	15 433	7,5		67 230
Australia	12 374	6,0		20 607
Etelä-Afrikka	11 043	5,3		3 3 623
Venäjä	8 070	3,9		334 24
Brasilia	6 938	3,4		23 296
Globaali	206 683	79,0		2659 78

Euroopan liuskekaasuvarantojen suuren mittakaavan hyödyntämisen alkamisen oletetaan vievän vielä yli vuosikymmenen ajan, johtuen muun muassa rajallisesta hyödyntämisteknologian osaamisesta ja prosessin hallinnasta, tiiviistä asutuksesta, liuskekaasutuotannon vastustuksesta sekä tiukasta ympäristölainsäädännöstä. Euroopassa halu päästä eroon Venäjä-riippuvuudesta ajaa useampia maita omien liuskekaasuvarantojen kartoittamisen lisäksi myös uusien LNG-terminaalien ja tuontimahdollisuuksien kartoittamiseen. Kiinassa on arvioitu olevan maailman mittavimmat liuskekaasuvarannot ja yleinen oletus on, että

Kiina tulee kasvattamaan kulutustaan niin runsaasti, että se tulee ennemmin tai myöhemmin käyttämään kaikki kotimaiset liuskekaasuvarantonsa. Kiinassa kuitenkin hyödyntämistä hidastaa esiintymien haasteellisuus, teknologian vaatimat suuret vesimassat sekä kansalaisten kasvava ympäristötietoisuus.

LNG ajautuu markkinaohjautuvasti sinne missä hinnat ovat korkeimmat, mikä tarkoittaa tällä hetkellä Aasiaa ja Etelä-Amerikkaa. Tästä johtuen Yhdysvaltojen LNG-viennin on oletettu suuntautuvan suurimmaksi osaksi Aasian markkinoille ja vain pieninä osina Eurooppaan. Lisäksi epävarmuutta aiheutuu esimerkiksi Japanin ydinvoimapolitiikasta, Aasian kehittyvästä LNG-tarpeesta ja Yhdysvaltojen viennin lopullisesta laajuudesta.

Liuskekaasutuotannon alettua Yhdysvalloista on tuotu Eurooppaan teollisuuden käyttämättä jäänyttä edullista kivihiiltä. Tämä yhdistettynä ennätysmataliin päästöoikeuksien hintoihin on johtanut useassa Euroopan maassa kivihiilen kulutuksen kasvuun. Erityisesti uusiutuvan energian tuotantoon voimakkaasti profiloitunut Saksa on siirtynyt käyttämään kivihiiltä kasvaneissa määrin. Oletuksena on, että tulevat ilmastositoumukset tulevat voimakkaasti määrittämään, mitä kivihiilen kulutukselle tapahtuu lähivuosikymmeninä.

4. LIUSKEKAASUN TUOTANTO JA YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

4.1 Kaasun tuotanto

Teknologian kehittyminen on mahdollistanut epäkonventionaalisten öljy- ja kaasuvarojen, kuten liuskekaasun ja liuskeöljyn tuotannon aloittamisen. Erityisesti vesisärötysprosessin ja horisontaalisten porausmenetelmien kehittymisen kautta on liuskevarojen hyödyntämisestä tullut teknisesti mahdollista ja taloudellisesti kannattavaa. Prosessiin liittyy vielä epävarmuus- ja riskitekijöitä, eikä se ole ollut täysin hallinnassa kaikissa käynnissä olevissa hankkeissa. Vesisärötysprosessin ympäristöriskit ovat syynä useiden maiden vetäytymiseen liuskekaasun tuotannosta. Erityisesti tarkastelun alla ovat olleet prosessin vaikutukset pohjavesivaroihin niin pilaantumisen kuin riittävydenkin kannalta. (IEA, 2012)

Epäkonventionaalisissa kaasuesiintymissä kaasupitoisuus on yleensä matala ja esiintymät ovat laajalle ulottuvia. Lisäksi esiintymiä on hankala hyödyntää, sillä niiden maaperä on tiivistä ja liuskemuodostelmien kaasun permeabiliteettikerroin matala, mikä vaikeuttaa kaasun virtausta. Näistä ominaisuuksista johtuen, liuskekaasuvarojen poraus ja tuotanto vaatii konventionaalisia esiintymiä suuremman maapinta-alan ja siitä aiheutuu suurempi ympäristöjalanjälki tuotettua kaasuyksikköä kohden. (IEA, 2012)

Vuonna 2013 Yhdysvalloissa porattiin yhteensä noin 24 000 vesisärötyskaivoa, kaasuntuotanto oli käynnissä noin 230 000 epäkonventionaalisessa tuotantokaivossa ja esiintymät ovat levittäytyneet 48 osavaltion alueelle, mikä kertoo porausaktiivisuuden laajuudesta. (DOE, 2014) Kappaleissa 4.1.1–4.1.7 on esitelty liuskekaasuntuotannon ominaisuuksia ja käytettyjä hyödyntämismenetelmiä.

4.1.1 Esiintymien ominaisuudet

Liuskekaasua esiintyy savipohjaisissa liuskekivissä, kalliomaaperän mätäliejusedimentissä olevissa huokosissa. Liuske-esiintymien kerrostumien rakenneaineet ovat laadultaan hienorakeisia ja esiintymien huokoisuus on suhteellisen pieni, usein vain 10 % tilavuudesta. Kaasu jää herkästi kiinni kiven pintaan tai jumiutuu irrallisiin osioihin sen sisällä. Toisin sanoen liuske-esiintymän permeabiliteetti on huono, eikä kaasu virtaa helposti ulos esiintymästä. Talteen saatava kaasun määrä neliökilometriä kohden jää liuskekaasumuodostumien kompleksisuudesta johtuen suuruusluokan verran alhaisemmaksi konventionaaliin esiintymiin verrattuna. (IEA, 2012)

Liuske-esiintymät ovat yleisiä maaperän sedimentaatioaltaissa. Esiintymissyvyydet vaihtelevat pinnan läheisyydestä useiden tuhansien metrien syvyyteen ja esiintymien paksuus vaihtelee samoin muutamasta metristä useisiin satoihin. Kaasupitoisten liuskeiden sijaintoja on kartoittanut esimerkiksi perinteisten vesikaivojen kairaukset. Kuitenkin esiintymien laajuus, kaasuntiheys ja geologiset ominaisuudet on tuotantoa varten selvitettävä tarkempien koeporauksien avulla. Kaasun hyödyntämisteknologioiden kehitys ja energian hinta ratkaisevat, onko yksittäistä esiintymää taloudellisesti kannattavaa porata. Märstä kaasuesiintymistä saadaan sivutuotteena nestemäisiä hiilivety-yhdisteitä eli NGL, kuten etaania, propaania ja butaania, jotka nostavat esiintymän hyödyntämisen kannattavuutta. (IEA, 2012)

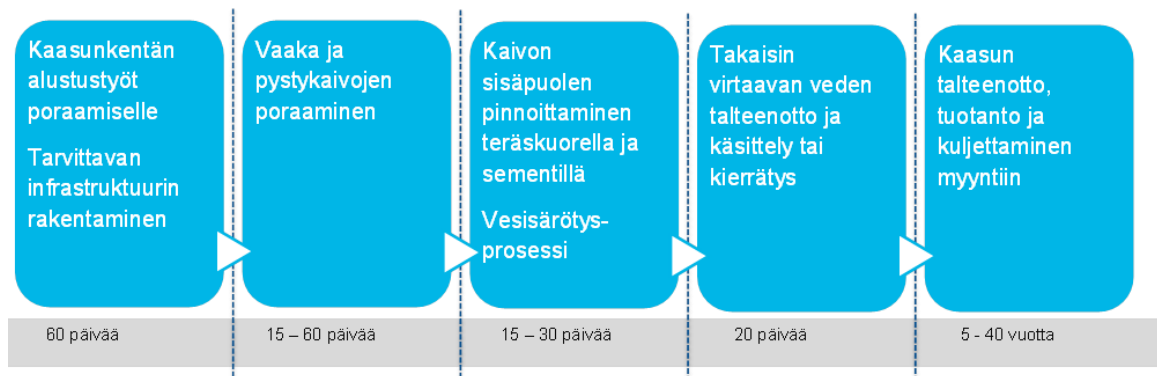
4.1.2 Kaivon poraaminen ja päällystäminen

Porausvaihe on kaikkein näkyvin ja häiritsevin osa koko tuotantoprosessia. Keskimäärin liuskekaasukentälle tarvitaan vähintään yksi kaasukaivo neliökilometrille, kun vastaava tarve konventionaalisissa esiintymissä on yksi kymmenelle neliökilometrille. Porauskenttä vie tyypillisesti 100 m² tilan. Se sisältää porauskoneiston ja porausnesteiden säilytysaltaat. Lisäksi tarvitsee rakentaa tieinfrastruktuuri rekkaliikennettä varten. Kaasukentän alustustöihin kuljetetaan laitteistoa ja rakennustarvikkeita, sekä tuotannon alkaessa vesisärötykseen tarvittavaa vettä ja kemikaaleja. Porauskohtaa valittaessa on olennaista ottaa huomioon geologisten esiintymien optimaalisuuden lisäksi lähellä sijaitsevat asuinalueet, paikallinen ekologia ja luonnoneliöstö sekä vedensaanti ja jäteveden käsittelymahdollisuudet. (IEA, 2012)

Porausvaiheessa reikä porataan liuske-esiintymän syvyyteen vaiheittain, joiden välissä kaivon sisäpinta varmistetaan metallikuorella ja sementillä pinnoittamalla. Yhdysvalloissa olevat tuotantokaivot on porattu 2,4–3,0 km syvyyteen. (Wang, Q. et al. 2014) Poraamisen kesto vaihtelee muutamasta päivästä kuukausiin, riippuen esiintymän syvyydestä ja maaperän ominaisuuksista. Poraaminen on ympärivuorokautinen prosessi, jolloin rekkaliikenne on vilkasta ja käynnissä olevat dieselgeneraattorit aiheuttavat melua ja pakokaasuja. Kun on päästy esiintymän syvyyteen, aletaan porata esiintymää pitkin vaakatasossa. Vaakasuuntaisten kaivojen pituus vaihtelee noin 800 metristä 1 200 metriin. Vaakakaivoilla kasvatetaan vesisärötyksen kontaktipinta-alaa esiintymään, millä pyritään parantamaan kaasunsaantoa. Porauksen aikana porausnestettä kierrätetään kaivoporan läpi voitelemaan poraa, kontrolloimaan painetta sekä poistamaan irtainta maa-ainesta kaivosta. Porausneste sisältää vettä, suoloja, kiinteitä partikkeleita sekä kemiallisia apuaineita. Käytet-

tävän nesteen määrä liikkuu sadoissa tonneissa ja kaivokohtaisesti poratun, uudelleen sijoitettavan maa-aineksen määrä on 100 ja 500 tonnien välillä. (IEA, 2012)

Kaivon sisäpinnan pinnoittamiseen käytetyllä metallikuorella ja sementillä pyritään estämään korkeapaineisen kaasun ja vesisärötysnesteen vuotaminen huokoiseen maaperään tai pohjavesikerrokseen. Pinnoituksen tulee kestää vesisärötyksen aiheuttama jaksottais- ta painerasitusta. Huolellisella asennuksella ja pinnoitusmateriaalien valinnalla on suuri merkitys prosessin ympäristövaikutuksien kontrolloimisessa. (IEA, 2012) Tyypillinen kaa- sukaivon elinkaari on esitetty kuvassa 7.

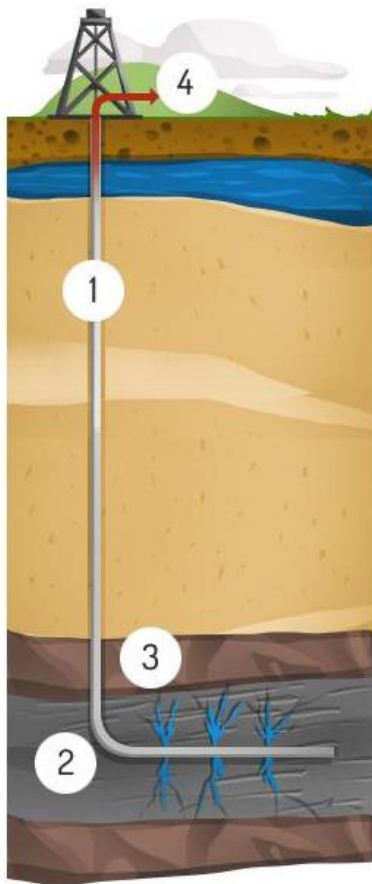


Kuva 7. Liuskekaasukaivon elinkaari (Accenture, 2012)

4.1.3 Vesisärötysprosessi

Epäkonventionaalisissa esiintymissä, perinteisillä tuotantomenetelmillä saavutettu kaasun virtaus jää liian pieneksi ollakseen taloudellisesti kannattavaa, joten liuskekaasuesiintymän kivi murretaan hydraulisesti vesisärötystekniikalla. (IEA, 2012)

Vesisärötyksessä särötysnestettä pumpataan korkealla paineella kaivon läpi, pohjan vaakatasoon porattua kaivoa ympäröivään maaperään, jolloin paineen ansiosta saadaan esiintymän liuske halkeamaan. Halkeamien leveys on vain muutamia millimetrejä, mutta ne ovat pituudeltaan kymmeniä, jopa satoja metrejä. Särötysnesteen hienojakoiset partikkelit, kuten hiekka tai keraamiset jyvät, pitävät halkeamat aukinaisina, jotta ne eivät umpeudu paineen normalisoituessa. Avoimesta halkeamasta liuskeiden kaasu pääsee virtaamaan vaakaputkeen, josta se saadaan pumpattua kaivoa pitkin ylös. Vesisärötys suoritetaan useammassa peräkkäisessä jaksossa, joita tehdään yleensä 10–20 kappaletta. (IEA, 2012) Kuvassa 8 on selitetty nelivaiheisesti vaakaporaus ja vesisärötysprosessi.



- 1) Kaivoa porataan pystysuoraan, kunnes saavutetaan liuskekerros
- 2) Pora käännetään vaakasuuntaan, jotta saavutetaan suurempi poikkileikkaus esiintymästä
- 3) Vesisärötysnestettä injektoidaan kovalla paineella kaivoon, jolloin se muodostaa säröjä liuskeeseen
- 4) Paine vapautetaan ja osa särötysnesteestä palaa takaisin pintaan, jonka jälkeen alkaa kaasuvirta

Kuva 8. Vaakaporaus ja vesisärötysprosessi (European parlament, 2012)

Vesisärötyksen jälkeen kaivoon injektoidusta nesteestä osa lähtee virtaamaan takaisin ylös paineenlaskusta aiheutuen. Merkittävä osa vettä jää kaivoon ja maaperän halkeamiin. Takaisinvirtaaman mukana tuleva kaasun määrä kasvaa ajan mukana, muodostuen lopulta pelkästään hiilivedyistä. Kaasumaiset hiilivedyt erotetaan nesteestä ja takaisin virtaava särötysneste kerätään käsittelyä, kierrätystä tai käytöstä poistoa varten. (IEA, 2012)

4.1.4 Prosessin vedenkulutus

Liuskekaasutuotannossa käytetään vettä jo kaivon porausvaiheessa, mutta merkittävin vedenkulutus tapahtuu vesisärötysprosessin aikana. Yhden kaasukaivon jaksottaisen vesisärötyksen veden kokonaiskulutus vaihtelee muutaman tuhannen ja 20 000 kuutiometrin välillä. Paikallisten pinta- tai pohjavesivarojen ollessa riittämättömät, tarvitaan yhtä kaivoa kohden tarvittavan veden paikalle toimittamiseen jopa 500 kuorma-autolastillista vettä. Suuresta vedenkulutusmäärästä johtuen on olennaista kiinnittää huomiota särötysprosessin tehokkaaseen vedenkäyttöön. Esimerkiksi Texasin Eagle Fordin kaivokentällä on saatu yli 25 % vähennys vedenkulutukseen vesisärötysnesteen kierrätyksellä uudelleenkäyt-

töön. (IEA, 2012) EPA on tehnyt laajaa tutkimusta liittyen vesisärötyksen vaikutuksista juomaveteen, niin vedensaannin takaamisen kannalta kuin pilaantumismahdollisuuksiin. (EPA, 2012)

Pumpattavan veden määrää saadaan pienennettyä käyttämällä kemikaaleja muodosta-
maan korkean viskositeetin nesteitä. Toinen vaihtoehto on käyttää vaahdotettua nestettä,
jolloin korvataan 90 % tarvitusta vedestä kaasumaisella tyypellä tai hiilidioksidilla. Veden
viskositeetin muuttaminen tai vaahdotus vaatii kuitenkin suurempien kemikaalimäärien
käyttöä mikä kasvattaa maaperän pilaantumisriskiä. Prosessi voidaan suorittaa myös ko-
konaan ilman vettä, jolloin kaivon syötetään hiilivety-pohjaista geeliä tai nesteytettyä
propania. Kyseisten aineiden käsittelyssä on kuitenkin olemassa räjähdysvaara. (IEA,
2012)

4.1.5 Särötyskemikaalit

Yleisimmin käytetty vesisärötysneste ”slick-water” muodostuu 99 %:sti sekoituksesta vettä
ja käsiteltyä hiekkaa tai keraamisia jyviä. Vesisärötysnesteeseen 1 % muodostuu kemikaa-
liseoksesta, jolla saadaan nesteelle optimaaliset ominaisuudet särötysprosessiin. Kemi-
kaaliseos koostuu seuraavista komponenteista:

- Sakeuttamista edistäviä polymeerejä, kuten guarumia tai selluloosaa, lisätään pi-
tämään hiekka tai keraamiset jyvät ja nesteen pumppauksen aikana suspensioitu-
neena eli tasaisesti jakautuneena, jotta ne kulkeutuvat kaikkiin syntyneisiin hal-
keamiin. Lisäksi voidaan käyttää sidosteena boraatteja tai metallisuolaa.
- Pienillä kelaatti-konsentraatioilla edistetään hiilivedyn virtausta halkeamista kai-
voon.
- Hapettimella tai entsyymeillä parannetaan sakeutuspolymeerin hajoamista osiksi
prosessin loppuksi.
- Polyakryyliamidia lisätään vähentämään nesteen kitkaa ja siten pumppaukseen
tarvittavaa energiaa.
- Biosidejä käytetään pienentämään luonnollisesti vedessä olevan bakteerikannan
vaikutusta nesteen suorituskykyyn ja estämään sen määrän kasvamisen.

Yksittäisen liuskekaasuprojektin särötysnesteessä käytettävien kemikaalien valintaan vai-
kuttaa paikallisten vesivarojen saatavuus, kemikaalien käytön vähentämistarve, liuske-
esiintymän ominaisuudet ja särötyskemikaalien kustannukset. (IEA, 2012) Optimaalisen
vesisärötysnesteeseen valintaan joudutaan usein sijoittamaan paljon tutkimusresursseja, mis-
tä johtuen yritykset ovat usein määritelleet tarkat kemikaalikoostumukset liikesalaisuudek-

si. (Centner, 2013) Yhdysvalloissa toimiva FracFocus-nettisivusto on pyrkinyt avoimuuteen vesisärötyksessä käytettyjen kemikaalien kanssa ja sen kautta yritykset pystyvät julkisesti ilmoittamaan käyttämänsä kemikaalit. (FracFocus, 2014) Useat osavaltiot ovat alkaneet edellyttää sivuston käyttämistä osavaltiossa toimivilta liuskekaasuyrityksiltä.

4.1.6 Kaasun tuotanto

Kaasun tuotantovaiheen alkaessa kaasukaivot liitetään putkistolla kaasunprosessointilaitokseen. Tässä vaiheessa liuskekaasukentän ainoa näkyvä todiste on kaivojen päällä olevat metrin korkuiset venttiilejä täynnä olevat tangot. Laitokseen virtaa kaivosta prosessointiin meneviä hiilivetyjä sekä korkean nestepitoisuuden jätevirtoja, jotka otetaan talteen käsittelyä varten. (IEA, 2012) Nestemäiset hiilivedyt eli NGL:t kuten etaani, propaani, butaani, pentaanit sekä korkean molekyylipainon hiilivedyt ja muut kondensaattit tuottavat kaasuteollisuudelle merkittävää lisäarvoa ja ne otetaan talteen jatkokäyttöä varten. Kaasuvirrasta poistetaan jäämät rikkivedystä H₂S ja hiilidioksidista CO₂, turvallisuussyistä ja jotta vältetään putkiston ja välineiden korroosiota. Tuotannon alkuvaiheessa nesteen mukana tuleva kaasu saatetaan polttaa tai ilmata, sillä sitä ei ole kannattavaa erottaa pienestä pitoisuudesta johtuen. (Speight, 2013)

Liuskekaasukaivon varsinainen tuotanto on suurimmillaan ensimmäisen puolen vuoden aikana, jolloin kaasua saadaan sysäyksenä. Alun jälkeen kaasunsaanti laskee merkittävästi ja kaasun kannattavin talteen otettava määrä on saavutettu jo muutamassa vuodessa. Konventionaalisilla esiintymillä kaasuntuotanto on tasaisempaa ja vaihe saattaa kestää yli 30 vuotta. (IEA, 2012)

4.1.7 Poistoveden käsittely ja puhdistus

Vesisärötyksessä käytetystä kaivon injektoidusta nesteestä palautuu kaivon pintaan särötystä seuraavien päivien ja viikkojen aikana takaisinvirtaama, joka on suurimmilta osin särötysnesteitä. Palautuvan veden määrä on 20-50 % sisään syötetystä nesteestä, riippuen esiintymän geologiasta. Loppu särötysneste jää maaperään, sitoutuneena liuskeesiintymän saveen. Poistovesi sisältää vesisärötyskemikaaleja ja maaperästä liuenneita metalli-ioneja, mineraaleja ja hiilivetyjä. Parhaimmassa tilanteessa poistovesi säilytetään umpinaisissa säiliöissä kaasukentällä ennen käsittelyä. (IEA, 2012) Takaisinvirtaamaveden ominaisuudet vaihtelevat, joten tarvittu jäteveden käsittelymenetelmäkin vaihtelee. Esiintymäkohtaisesti käytettyjen kemikaalien ja niiden liuottamien maaperäkohtaisten kontaminanttien poistamiseen tarvitaan erilaiset vedenkäsittelymenetelmät. (Vidic et al. 2013)

Jäteveden korkea suolapitoisuus on yleistä ja joissain esiintymissä veden radioaktiivisuus asettaa lisähaasteita puhdistusprosessille. (Speight, 2013)

Yleisin liuskekaasutuotannon poistovesien käytöstäpoistamismenetelmä Yhdysvalloissa, on veden injektointi maaperän syviin kerrostumiin. Tällöin esikäsittelyä suoritetaan kiintoaineensuodatus ja -laskeutus, jotta vältetään injektioilaitteiston ja kairausreiän tukkeutuminen. Toinen vaihtoehto on poistovesien puhdistus teollisuuden jätevesienpuhdistuslaitoksella. Poistoveden esipuhdistusvaiheessa vähennetään kiintoaineksen määrää ja raskasmetallipitoisuutta. Pääpuhdistusprosessissa vähennetään nesteeseen liuenneiden kiintoaineiden määrää sekä klorideja. Puhdistuksen jälkeen vesi voidaan riittävän puhdistusasteen saavutettua johtaa uudelleenkäyttöä varten liuskekaasukentälle. Vaihtoehtoisesti vesi voidaan laskea paikalliseen pintavesistöön tai käyttää esimerkiksi maatalouden vetenä. (Guarnone et al. 2012) Osassa osavaltioita vaaditaan puhdistettujenkin poistovesien syöttämistä syväinjektiokaivoihin. (EPA, 2010) Puhdistetun veden kierrätysprosessin uudelleenkäyttöä varten, on todettu vaaditusta puhtausasteesta johtuen tuotannon kannalta kalliiksi vaihtoehdoksi. Sillä saadaan kuitenkin pienennettyä liuskekaasutuotannon vesi-intensiteettisyyttä. (Guarnone et al. 2012) Uudelleenkäyttö on kannattavampi vaihtoehto kuivilla alueilla, joissa veden suolapitoisuus on suhteellisen matala (alle 10 000 mg/l). (Kharaka et al. 2013) Uudelleenkäyttöä varten vettä ei tarvitse puhdistaa juomakelpoisen tasolle ja Marcellus-esiintymässä yritykset ovat pystyneet kierrättämään jopa 96 % vedestä. Tuotannossa on käytetty myös siirrettäviä jätevedenkäsittelyjärjestelmiä, jotka mahdollistavat veden uudelleenhyödyntämisen välittömästi. (Speight, 2013) Teksasissa oli kokeiltu erään alueen vesisärötyksen jätevesien käsittelyä kunnallisessa puhdistuslaitoksessa. Esiintymän jätevetteen oli liuenneena pelkästään vähäisiä määriä suoloja, joten kokeilu todettiin toimivaksi. Pennsylvaniassa vastaava ratkaisu todettiin huonosti soveltuvaksi, sillä kyseisen esiintymän suhteellisen korkea radioaktiivisuus tappoi jätevedenpuhdistuslaitoksen prosessin mikrobieliöstön. (DOE, 2014)

Toistaiseksi jätevedenkäsittelyä ei ole kaikissa osavaltioissa säädelty, eikä puhtausastetta ole määritelty. Kehityssuunta osoittaa kuitenkin, että poistovesiltä vaaditaan jatkuvasti pienempiä ympäristövaikutuksia ja korkeampaa uudelleenkäyttöön kierrätysastetta. (DOE, 2014)

4.2 Merkittävimmät paikalliset ympäristövaikutukset

Liuskekaasutuotantoon, kuten muuhunkin teolliseen toimintaan, liittyy aina tietty ympäristön pilaantumiseriski. Poikkeuksellista liuskekaasun ympäristöhaasteista tekee sen tuotannon nopea käynnistyminen ja räjähdysmäinen kasvu laajalle alueelle. Tästä johtuen ei osaa riskeistä ja haasteista, eikä niiden laajuutta ole vielä tunnistettu. (IEA, 2012) Suurimmat haasteet tuotannon kanssa ovat tulleet esille osavaltioissa, joilla ei ole historiaa konventionaalisessa öljyn- ja kaasuntuotannossa. Niissä toimijoilta on puuttunut tuotannon hallintaan tarvittavaa osaamista, eikä osavaltion lainsäädäntö ole ollut vielä kohdallaan tuotannon nopeasti yleistyessä. (Susan Sakman, 2014) Vesisärötyksen yhteydessä yleisimmin esille tulleita ympäristöhaasteita ovat vaikutukset vedensaantiin ja vedenlaatuun, käytettyjen kemikaalien päästöt ja vaikutukset, prosessin ilmanpäästöt sekä vesisärötyksen vaikutukset maaperän seismisyyteen. Yhdysvalloissa osavaltiot vastaavat omalla lainsäädännöllään tuotannon säätelystä ja vesistövaikutuksien minimoimisesta. Valtiotasolla EPA säätelee liuskekaasutuotannon vesistövaikutuksia *Clean Water Act*:n mandaatilla. (EPA, 2012)

Ympäristövaikutusten minimoiminen lisää tuotantoprosessin kustannuksia eli siitä huolimatta on olennaista pyrkiä ylläpitämään tuotannon kilpailukyky. Yrityskentässä kaivataan selkeät osavaltiokohtaiset asetukset vesisärötystoimintojen ympäristövaatimuksista, joiden mukaisesti kaikkien alueella toimivien yritysten tulee toimia. Tällöin yksittäisten yritysten pyrkimykset ympäristövaikutusten minimoimiseen, eivät johda niiden kilpailukykyyn menetykseen nousseista kaasuntuotannon hinnoista johtuen. Vuonna 2012 Yhdysvalloissa oli kaasuntuotanto käynnissä noin 230 000 epäkonventionaalisessa tuotantokaivossa. (DOE 2014) Vaikka tuotannon todelliset ympäristövaikutukset ovat vielä epäselviä, on tunnistettu jokaisen tuotantokaivon poraamiseen liittyvän riskejä, niin kemikaalirekkojen vuodoissa kuin kaivon päällysteen rikkoutumisessa.

Suurimpana haasteena liuskekaasutuotannon laajentumisessa Yhdysvaltojen ulkopuolelle on sen aiheuttamien ympäristövaikutusten tunnistaminen, hallinta ja minimoiminen. Ympäristöongelmien ratkaiseminen on olennaista myös yleisen hyväksyttävyyden saavuttamisessa. Toistaiseksi useat Euroopan maat ovat vetäytyneen liuskekaasun hyödyntämisestä ja aiemmin myönnettyjä porauslupia on peruttu kansalaisten vastustuksesta johtuen, joka on suurilta osin aiheutunut huolesta potentiaalisista ympäristövaikutuksista.

4.2.1 Vaikutukset veteen

Liuskekaasutuotannon vaikutukset veteen ovat laajat, johtuen niin vesisärötysprosessin käyttämästä suuresta vesimäärästä, kuin prosessissa käytetyistä kemikaaleista ja poistoveteen liuenneista maaperän yhdisteistä. Tässä kappaleessa on käsitelty liuskekaasutuotannon vaikutuksia vedensaantiin paikallisista lähteistä, vaikutuksia vedenlaatuun johtuen kemikaali- ja metaanipäästöistä sekä jätevesien puhdistuksen ja käytöstä poistamisen haasteita. Esiintymäkohtaiset, vesienhallintaan liittyvät haasteet vaihtelevat alueen olosuhteiden mukaisesti. Kuivalla alueella haasteita saattaa aiheuttaa riittävä prosessiveden saanti, kun taas toisaalla takaisinvirtaamaveden säteily aiheuttaa lisähaasteita jätevedenpuhdistukselle. (Speight, 2013) Yhdysvaltojen liuskekaasuesiintymät ovat levittäytyneet 48 eri osavaltion alueelle, mistä johtuen esiintymien ominaisuuksien ja olosuhteiden vaihtelevuus on ollut suurta.

Konventionaalisessa öljyn- ja kaasuntuotannossa esiintyy samoja vesiin liittyviä haasteita, kuin epäkonventionaalisessa liuskekaasuntuotannossa. Niissä paikallisten pohjavesien kontaminaatioita ovat aiheuttaneet suolapitoisten takaisinvirtaamavesien riittämätön puhdistuskäsittely ja käytöstä poistaminen ja laitteiden häiriötoiminnasta aiheutuneet tuotannonvesien vuodot, mutta yhtälailla merkittäviä ovat olleet onnettomuudet ja vandalismi. (Kharaka & Otton, 2007)

4.2.1.1 Vaikutukset vedensaantiin paikallisista lähteistä

Prosessin runsas vedenkulutus on ongelma kuivuudesta kärsivillä alueilla. Yhden liuskekaasukaivon vesisärötykseen ja poraukseen tarvittava veden määrä liikkuu välillä 10 000-50 000 m³, riippuen esiintymän ominaispiirteistä sekä kaivon ja tuotannon ratkaisusta. Käytetyn veden alkuperä vaihtelee, mutta useimmin käytetään paikallista pohja- tai pintavettä ja käsiteltyä jätevettä. Veden niukkuudesta kärsivillä alueilla joudutaan hyödyntämään rekkakuljetuksilla muualta tuotavaa vettä. Teollisuuden viimeaikaiset kehityssuunnat viittaavat siirtymistä suurimmassa määrin käyttämään käsiteltyjä ja kierrätettyjä tuotannonvesiä vesisärötyksen pohjanesteenä. (EPA, 2012) Tuotettua energiayksikköä kohden liuskekaasutuotannon vedenkulutus on 2-100 m³/TJ. Konventionaalisista maakaasulähteistä tuotetun energiayksikön tuottamiseen tarvitaan vain 0,01 % epäkonventionaalisten maakaasulähteiden vaatimasta vesimäärästä. Öljyntuotantoon verrattaessa ero on kuitenkin pienempi. Konventionaalisen tuotannon vedenkulutus on noin 65 % ja epäkonventionaalisen, vaikeasti hyödynnettävän tight oil-tuotannon 115 % liuskekaasuntuotannon vedenkulutuksesta. (IEA, 2012)

Liuskekaasutuotannon vaikutusta vesivarantojen saatavuuteen voidaan arvioida vertaamalla sitä kyseisen alueen kokonaisvedenkulutukseen tai vesivarantojen määrään, joihin lasketaan pinta- ja pohjavedet. Laskelmat ovat osoittaneet, että kosteammilla alueilla liuskekaasutuotanto vastaa suhteellisen pientä osuutta saatavilla olevasta vedestä. Esimerkiksi Marcellus-esiintymän kulutus vastaa vain 0,06 % saatavilla olevasta vedestä. Kuivilla alueilla tuotannon vedenkulutus vastaa merkittävämpää osuutta, kuten Barnett-esiintymässä se on 0,4 % kulutuksesta ja Haynessville-esiintymässä 0,8 %. Näillä alueilla vedensaanti voi olla merkittävä rajoite teollisuuden kehitykselle, sillä tuotanto voi vaikuttaa esimerkiksi kotitalouksien saatavilla olevan veden ja maatalouden kasteluveden määrään. Myös ajoittaisella kuivuudella on vaikutus tuotantoajankohtaan. (Kharaka et al 2013)

Tuotannon vedentarve tulee todennäköisesti muokkautumaan pienemmäksi teollisuuden jatkaessa kehittymistään ja veden kierrättämisen uudelleenkäyttöön toteutuessa laajemmin. (Kharaka et al 2013) Vettä ei ole nähty Yhdysvaltojen liuskekaasutuotannon pullonkaulana, vaan vedenkulutukseen liittyviä kehitysmahdollisuuksia on tunnistettu runsaasti. (DOE, 2014)

4.2.1.2 Vaikutus vedenlaatuun ja juomaveteen

Mahdolliset vaikutukset juomaveden laatuun ovat kontaminoituminen metaanipäästöillä tai vesisärötyksessä käytettyjen kemikaalipitoisten nesteiden vuodot. Lisäksi vedenotolla voi olla negatiivinen vaikutus juomavedenlaatuun. Vedenotto voi madaltaa pohjaveden pinnan korkeutta, vaikuttaa biodiversiteettiin ja vaurioittaa paikallista ekosysteemiä. Pilaantumisen välttämiseksi, on olennaista ymmärtää veden ottamisen merkitys kyseisen alueen vesistölle ja luoda toimintaohjeet sen ajankohdalle ja käytetyille tekniikoille. (IEA, 2012) Yhdysvalloissa EPA valtuutettiin vuonna 2009 tekemään selvitystä vesisärötyksen potentiaalisista vaikutuksista juomavesiresursseihin, mikä tällöin tunnistettiin suurimmaksi yksittäiseksi haasteeksi liuskekaasutuotannossa. (EPA, 2012)

4.2.1.3 Kemikaalipäästöt

Tuotannon kemikaalipäästöt voivat olla peräisin kemikaalirekkojen vuodoista, vesisärötysnesteiden seoksen valmistuksesta tai säilytyksestä, pumppauksesta sekä kaivon jääneestä vesisärötysnesteestä. Lisäksi vesisärötyksen poistovedestä tai sen huolimattomasta säilytyksestä voi aiheutua kemikaalipäästöjä, joita on käsitelty kappaleessa 4.2.1.5.

Tuotantoalueella muodostetaan ja säilytetään ennen tuotantoa vesisärötykseen soveltuva vesi-kemikaaliseos. Kemikaalipitoisuus on noin 1 %, mutta otettaessa huomioon koko prosessissa käytettävä nesteen määrä, porattavien kaivojen tiheys ja maaperään jäävän osuuden olevan 50-80 % syötetystä särötysnesteestä, kasvaa kemikaalienkin määrä merkittäväksi. Vesisärötysnesteiden kaivon pumppauksessa käytetty suuri paine voi aiheuttaa kaivojen koteloinnin rikkoutumisen. EPA on tunnistanut särötysprosessin yhteydessä kemikaalivuotoriskeiksi kaivon rakenteen murtumat ja viat, sekä maaperässä olleet luonnolliset säröt tai aiemmin poratut hylätyt kaivot, joiden kautta särötysnesteiden kemikaalit voivat kulkeutua ja aiheuttaa kontaminaatiota. (EPA, 2012) Yksi vastaamattomista kysymyksistä on, mitä tapahtuu maan sisään jäävälle vesisärötysnesteelle, ja onko riskinä, että tämä alkaa pidemmällä aikajänteellä kontaminoida juomavedeksi käytettyjä pohjavesiesiintymiä. Marcellus-esiintymän yhteydessä tehtyjen analyysien perusteella, valtaosa nesteestä imeytyy ja siten varastoituu maaperän liuskeeseen. (Kharaka et al. 2013) Yhdysvalloissa liuskekaasutuotannon alueiden asukkaat ovat osoittaneet huolta käytettyjen kemikaalien kulkeutumisesta maaperän läpi. Toistaiseksi on vain kaksi raportoitua tapausta, joissa vesisärötyskemikaalit ovat kulkeutuneet pohja- tai juomavedeen kaivojen tai maaperän kautta. (Brantley et al. 2014) Kemikaalien tunnistamisen haasteita on, että tuotantoalueilta otettujen näytteiden kemikaalit saattavat olla peräisin aiemmin tapahtuneista vuodoista tai onnettomuuksista. Käytetyistä kemikaaleista esimerkiksi toluenea esiintyy vesistöissä ja maaperässä myös muiden aktiviteettien, kuten maanalaisten polttoainetankkien tai maanpinnalla tapahtuneiden polttoainevuotojen ansiosta. Lisäksi toluenin kaltaisten orgaanisten yhdisteiden siirtymistä pintavesistöihin on vaikea havaita, sillä niiden pitoisuudet särötysnesteessä ovat pieniä ja vesistöt sisältävät samankaltaisia yhdisteitä. Epäorgaanisten yhdisteiden kuten Na, Cl, Ba, Sr tai Br havaitsemisen nähdään luotettavammaksi tavaksi tunnistaa kulkeutumista. (Brantley et al. 2014)

4.2.1.4 Metaanipäästöt vesistöihin

Liuenutta metaania ei ole yleisesti pidetty Yhdysvalloissa terveysriskinä. Metaanin liukenevuus veteen on vähäinen, 26 mg/L NTP-olosuhteissa ja pintavesistöihin joutuessaan metaani haihtuu nopeasti. (Vidic et al. 2013) Metaanin ei ole arvioitu olevan kovin myrkyllistä vesieliöstölle eikä sen ole todettu kertyvän ravintoverkkoon. Metaanin määrän on laskentamallien avulla arvioitu puoliintuvan matalasta joesta ja järvestä noin kahdessa tunnissa. (Työterveyslaitos, 2003) Veden bakteerit voivat kuitenkin hapettaa metaanin aiheuttaen happikatoa, joka puolestaan kasvattaa uusien aineiden kuten raudan ja arseenin liukenemiskykyä veteen. Veden metaanikaasukertymät voivat äärimmäisissä tilanteissa johtaa räjähdykseen. U.S. Department of Interior on suositellut, että veden metaanipi-

toisuuden ei tulisi ylittää 10 mg/L, jota suuremmilla pitoisuuksilla räjähdysvaara kasvaa. (Vidic et al. 2013)

Yleinen syy metaanipäästöjen kulkeutumiseen mataliin pohjavesistöihin on kaivojen koteloinnin ja sementtipinnoitteen rakennevirheet, joita Pennsylvaniassa esiintyi vuosina 2008-2013 3,4 % liuskekaasukaivoista. Osa kaasuvuodoista oli minimaalisia ja helposti korjattavissa. Yhdessä raportoiduista tapauksista, Marcellus-esiintymästä akkumuloitui metaanipäästöjä yksityiseen juomavesikaivoon, joka johti kaivon räjähtämiseen. (Vidic et al. 2013) Pohjavesissä esiintyvien metaanipäästöjen alkuperästä on haastava arvioida, ovatko ne peräisin liuskekaasutuotannosta vai luonnollista alkuperää. Liuske-esiintymät ovat sijainneet alueilla pitkään ja metaanipäästöjen kulkeutumista on mahdollisesti tapahtunut niin luonnollisen kulkeutumisen kautta kuin esimerkiksi vesikaivojen rakentamisestakin. (Vidic et al. 2013)

4.2.1.5 Poistovesien päästöt

Takaisinvirtaamaveden käsittelemisen haasteena on, että vesisärötyksessä käytettyjen kemikaalien lisäksi siihen on liuenneena maaperästä metalli-ioneja, mineraaleja ja hiiliveytyjä. Poistoveden on analysoitu sisältävän peräti 260 eri yhdistettä, joista seitsemän on luokiteltu olevan merkittävimpiä potentiaalisesti vaaraksi olevia yhdisteitä, sillä ne voidaan jaotella myrkyllisiin, karsinogeeneihin ja bioakkumuloituviiin aineisiin. Näistä esimerkkeinä akryyliamidi, naftaleeni ja hydroksyyliamini hydrokloridi. Kyseisiä yhdisteitä on toistaiseksi esiintynyt vain pieninä pitoisuuksina. (Guarnone et al. 2012)

Takaisinvirtaamavettä säilytetään tyypillisesti tuotantopaikalla padotuissa altaissa tai tankeissa. Kuten vesisärötysnesteen säilytyksessäkin, takaisinvirtaamaveden säilytykseen liittyy vuoto- ja valumariskejä, joista voi kulkeutua kemikaaleja lähivesistöihin. (EPA, 2012) Yleinen altaiden vuoto-onnettomuuden aiheuttaja on runsas sademäärä. (Speight, 2013) Takaisinvirtaamaveden vuotojen vaikutuksien arvioidaan olevan vesisärötysnestettä suurempia, johtuen siihen liuenneista maaperän yhdisteistä alkuperäisten kemikaalien lisäksi. (IEA, 2012) Raportoiduissa tilanteissa nesteellä on ollut korkea suolapitoisuus, ja siihen on ollut liuenneena metalli-ioneja, orgaanisia yhdisteitä ja luonnossa esiintyviä radioaktiivisia materiaaleja kuten radonia ja radiumia. (Kharaka & Otton, 2007) Takaisinvirtaamaveden liuenneiden kontaminanttien vaikutukset huolestuttavat myös veden kierrätyksessä uudelleenkäytettäväksi tuotantoon. (Speight, 2013)

Osavaltiokohtaisten jätevedenpuhdistusvaatimuksien puuttumisesta johtuen puhtausaste ei ole ollut kaikissa esiintymissä riittävä. EPA:n *Clean Water Act*:in standardit jäteveden puhdistusta koskien kehitettiin ennen vesisärötyksen laajaa kehitystä ja monilla jätevesienpuhdistuslaitoksilla ei ollut tuotannon alkaessa valmiutta puhdistaa vesisärötysprosessin jätevettä. Perinteinen menetelmä Yhdysvaltojen teollisuuden jätevesien käsittelylle on ollut injektoida ne syvälle maaperään alueilla, joissa on soveltuva geologia. Menetelmä mielletään turvalliseksi ja edulliseksi ympäristölle haitallisten jätevesien käsittelyssä. Smithsonian-lehti raportoi Pennsylvaniassa 2013 käyneestä vuodesta, jossa vesisärötyksen jälkeen puhdistettua radioaktiivista jätevettä oli päässyt vesialueeseen, josta otetaan Pittsburghin kaupungin juomavesi. Kyseissä tapauksessa jätevesi oli puhdistettu, mutta vesistön radioaktiivisuustasot olivat nousseet huolestuttavan korkealle. (Stromberg, 2013) Liuskekaasun poistovesien injektointi syväinjektiokaivoihin on vaadittu osassa osavaltioita vielä käsittelyn jälkeenkin. Tällä pyritään vähentämään jätevesien vajavaisesta puhdistuksesta aiheutuvaa vesistöjen pilaantumista. (EPA, 2010)

4.2.2 Ilmanpäästöt

Liuskekaasutuotannon nopea kasvu koko Yhdysvaltojen laajuiseksi on herättänyt kiinnostuksen sen potentiaalisista vaikutuksista kansanterveyteen, sillä tuotantoa tapahtuu myös suhteellisen lähellä tiheään asuttuja kaupunkialueita. Vuoteen 2013 mennessä oli tehty vain muutama tutkimus koskien tuotannon ilmanpäästöjä ja niiden vaikutuksia terveyteen.

Texas Commission on Environmental Quality (TCEQ) suoritti laajan ilmanlaadun monitoroinnin Barnett-esiintymän alueella. Esiintymä on edustava tarkastellessa merkittävimpiä vaikutuksia kansanterveyteen, sillä poraustoiminta on laajaa ja aktiivista, sekä sitä tapahtuu suuren kaupungin läheisyydessä. Tutkimuksen mielletään soveltuvan kuvaamaan liuskekaasutuotannon ilman kautta leviävien kemikaalien mahdollisia akuutteja ja kroonisia vaikutuksia. (Bunch et al. 2014) Monitoroinnin yhteydessä tunnistettiin 11 haihtuvaa kemikaalia, jotka pystyttiin suurella todennäköisyydellä yhdistämään liuskekaasutuotantoon ja nimeämään merkittävimiksi. Kemikaaleista esimerkkeinä ovat etyylibentseeni, ksyleeni, tolueeni, asetaldehydi, metanoli ja eri typenoksideja (NO_x). (Bunch et al. 2014) Tuotannon hajapäästöt ovat haihtuvia orgaanisia yhdisteitä eli VOC (Volatile organic compounds), joita muodostuu esimerkiksi tuotannossa käytetyissä polttomoottoreissa, kondensaattitankin ilmanvaihdossa ja metaanin polttamisessa soihdussa. TCEQ:n keräämien tietojen pohjalta havaittiin VOC-päästöjen olevan yleisimpiä märissä kaasuesiintymissä. (Bunch et al. 2014) Myös Texas Department of State Health Services (DSHS) toteutti vuonna 2010 biomonitorointikartoituksen Barnett-esiintymän läheisyyden yhteisöis-

muodostuu niin koeporauksessa ja tuotannossa, kuin kaasunsiirto- ja jakeluvaiheessa. Metaanivuodot ovat riskitekijänä läpi koko arvoverkon ennen käyttöä. (Speight 2013) Suuri metaanivuoto sisätiloissa saattaa aiheuttaa hapenpuutetta, joka voi ilmetä huimauksena, hengitysvaikeuksina, pahoinvointina tai päänsärkynä. Ulkotiloissa metaani kuitenkin sekoittuu nopeasti ympäröivään ilmaan. (Työterveyslaitos, 2003)

4.2.3 Vaikutukset maaperän seismisyyteen

Seismologit ovat pitkään tunnistaneet yhteyden nesteen maaperään injektoimisen ja lisääntyneen seismisen aktiivisuuden välillä. Liuskekaasutuotannon yhteydessä tämä on herättänyt keskustelua, koska maanjäristykset ovat tapahtuneet alueilla, joilla ei ole perinteisesti esiintynyt maanjäristyksiä. Yleisesti kaikkeen maan alla tapahtuvaan toimintaan, johon liittyy paineiden kasvamista, liittyy myös riski laukaista pieniä maanjäristyksiä. Paikallisten kuormitusten muutoksista johtuen, maanalaiset siirrokset voivat uudelleen aktivoitua ja aiheuttaa seismistä liikehdintää. Vesisärötyksessä vaikutuksen voi aiheuttaa äkillinen kasvu siirroskohtien nesteen osapaineessa. (Davies et al. 2013) Lisääntyneen seismisyyden ja ihmisen toiminnan välisen yhteyden, on liuskekaasuun liittyvissä tutkimuksissa kommentoitu olevan monimutkainen. (Frohlich & Brunt, 2013)

Vesisärötyksen yhteydessä tapahtuneesta seismisen toiminnan aktivoitumisesta on useita todistettuja esimerkitapauksia. Maanjäristykset ovat olleet valtaosin suuruudeltaan pieniä, joiden yhteydessä on puhuttu mikromaanjäristyksistä. Perinteiset pintaseismometrit eivät ole raportoineet niitä johtuen yleisestä melutasosta. Maanalaisilla sensoreilla useiden satojen metrien syvyydessä, on kuitenkin saatu selkeitä tuloksia kasvaneesta seismisyydestä. (Davies et al. 2013) Tekemällä liuskekaasuesiintymästä geologinen analyysi, voidaan tutkia mahdolliset esiintymän siirroskohdat ennakkoon, jolloin pystytään mahdollisesti välttämään seismisiä vaikutuksia. Useimmiten vesisärötykseen liitetty seismisyys on ollut 1 Richterin suuruusluokkaa. (Speight, 2013) Ihmiset eivät tunne alle 1.0 Richterin ja todella harvat alle 2.0 Richterin maanjäristyksiä. 2.0-2.9 saattaa jo tuntea pienenä maan liikkumisena ja 3.0-3.9 kohdalla sisällä olevat esineet saattavat heilua. Voimakkaimpien liuskekaasutuotantoon liitettyjen maanjäristyksien sanotaan tuntuneen kerrostalon ylemmissä kerroksissa voimakkuudeltaan ohiajavaan rekkaan verrattavissa olevilta. (RAENG, 2012)

Eagle Ford-esiintymällä Teksasissa suoritettiin vuosien 2009-2011 aikana tutkimus liuskekaasutuotannon vaikutuksista lisääntyneeseen seismisyyteen. Tutkimuksen yhteydessä kirjattiin yhteensä 62 todennäköistä maanjäristystä, joista vain neljä U.S. Geological Sur-

vey raportoiti. Tutkimuksessa tunnistettiin maanjärityksien olevan suuruudeltaan pieniä ja niillä olevan mahdollinen yhteys tuotantoon, erityisesti nesteiden poistamiseen kaivosta. (Frohlich & Brunt, 2013) Barnett-esiintymässä Teksasissa suoritettiin vuosien 2009-2011 aikana vastaava tutkimus, jossa perehdyttiin nesteiden injektointin vaikutuksiin. Tutkimus kirjasi yhteensä 67 maanjäritystä, joista kahdeksasta U.S. Geological Survey raportoiti. Kyseisessä tutkimuksessa todetaan, että injektointiin liittyvät maanjäritykset ovat yleisiä ja todennäköisiä, jos alueen maaperässä esiintyy maanjäritysalttiita siirtymiä tai neste vapauttaa maankuoren kuormitusta. (Frohlich, 2012) Eagle Fordin tutkimuksessa ei puolestaan löydetty selkeää yhteyttä nesteiden injektointin ja seismisyyden välille. (Frohlich & Brunt, 2013)

Poikkeuksellisen suuria liuskekaasutuotantoon yhdistettyjä maanjärityksiä on esiintynyt kolmessa esiintymässä: Kanadan British Colombiassa (2009, 2010 ja 2011), Yhdysvaltojen Oklahomassa (2011) ja Iso-Britannian Lancashiressa (2011 ja 2012). Maanjäritykset olivat suuruusluokiltaan 2.8-3.8 Richteriä. Näiden kommentoidaan olleen kuitenkin sadoista tuhansista vesisärötyskerroista ainoat, jotka ihminen on pystynyt tuntemaan. (Davies et al. 2013)

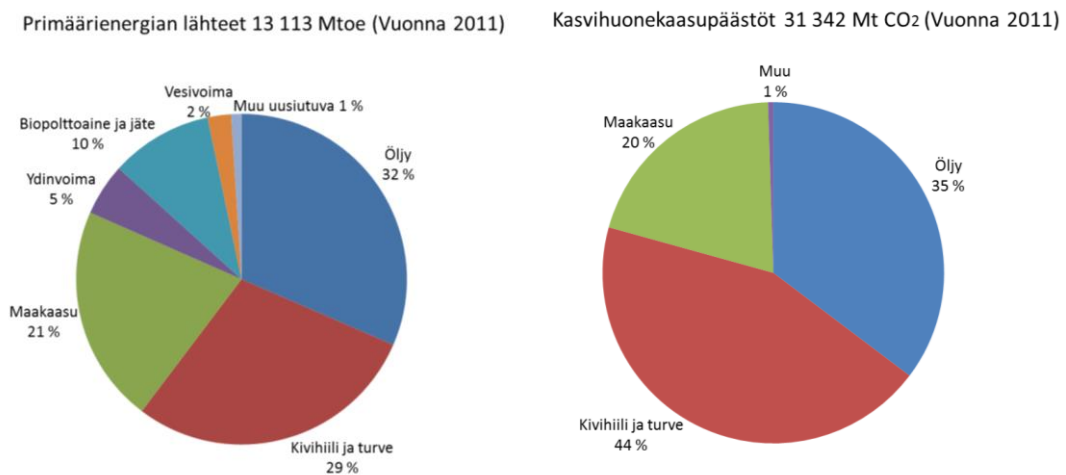
4.3 Laajat ympäristövaikutukset – Ilmastonmuutos

Yhdysvalloissa liuskekaasuvallankumouksesta on jo aiheutunut merkittävät päästövähennykset. Kiinalla on maailman suurimmat liuskekaasuvarannot ja suuri kiinnostus puhtaan energian. Kiina ja Yhdysvallat ovat yksittäisinä maina suurimmat kasvihuonekaasupäästöjen tuottajat, jotka voivat siten toimillaan vaikuttaa merkittävästi koko maailman päästötasoon.

4.3.1 Maakaasu ilmastonmuutoksessa

Maakaasun käytön lisääminen primäärienergianlähteenä kuuluu usealla maalla yhtenä energiapolitiikan avainratkaisuna ilmastonmuutoksen vähentämistavoitteiden saavuttamisessa. Yhdysvalloissa on saatu lupaavia tuloksia päästövähennyksissä korvaamalla kivihiilen käyttöä maakaasulla. Maakaasun kasvihuonekaasupäästöt ovat muita fossiilisia polttoaineita pienemmät, mutta epävarmuutta liittyy epäkonventionaalisten lähteiden tuotannon päästöjen ja maakaasun kuljetusten päästöjen suuruuteen. (Stephenson et al. 2012) Kuvassa 9 on esitetty maailmalla käytettyjen primäärienergioiden lähteiden osuudet

ja niiden poltosta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt. Kuvasta nähdään, että vuonna 2011 maakaasun osuus globaaleista primäärienergianlähteistä oli noin viidesosa. Fossiiliset polttoaineet vastaavat vielä yli 80 % maailman energialähteistä ja niiden hyödyntämisestä aiheutuu merkittävimmät maailman kasvihuonekaasupäästöt. Huolimatta globaaleista ponnisteluista, uusiutuvien energiamuotojen, johon lukeutuu aurinko, tuuli- ja maalämpöenergia, osuus on vain 1,0 % ja vesivoiman osuus 2 % energiantuotannosta. Maakaasulla on ilmastonmuutosta hillitsevä vaikutus korvatessaan kivihiilen tai öljyn käyttöä, missä nähdään olevan suuri potentiaali. (IEA, 2013b) Fossiiliset polttoaineet tulevat olemaan osana energiantuotantoa siirryttäessä kohti lisääntyvää uusiutuvien energiamuotojen käyttöä. Maakaasu nähdään johtavana polttoainevaihtoehtona tukemaan uusiutuvien energiamuotojen sähköntuotantoa. (Stephenson et al. 2012)



Kuva 9. Primäärienergian lähteet ja niiden aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt 2011 (IEA 2013b)

Taulukossa 5 on verrattu eri fossiilisten polttoaineiden päästökertoimia ja sähköntuotannon päästöjä maakaasun päästöihin. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) on määrittänyt eri polttoaineiden hiilipitoisuudelle oletuskertoimet (tC) verrattuna niiden energiasältöön (TJ). Verrattaessa maakaasun hiilipäästökertoimia, öljyyn ja kivihiileen, nähdään öljyn hiilipäästöjen olevan 1,1-1,8-kertaiset ja kivihiilen päästöjen 1,7-1,9-kertaiset maakaasuun verrattuna. (IPCC, 1996) Verrattaessa IEA:n päästökertoimilla maakaasulla, öljyllä ja kivihiilellä tuotetun kilowattitunnin hiilidioksidipäästöjä, ovat sähköntuotannon öljyn päästöt 1,6-1,7-kertaiset ja kivihiilen hiilidioksidipäästöt 2-2,3-kertaiset verrattuna maakaasuun. Toisin sanoen, jätettäessä mahdolliset hajapäästöt huomioimatta, maakaasun käyttö kivihiilen sijaan yli puolittaa sähköntuotannon hiilidioksidipäästöt ja öljyn sijaan vähentää noin 40 % päästöistä. (IEA, 2013a) Vaikka maakaasun käyttäminen siirtyminen vaikuttaa lupaavalta päästövähennysmenetelmältä, liittyy maakaasun

tuotantoon ja kuljetuksiin kasvihuonekaasupäästöjä, joiden tarkastelu ja määrittäminen ovat vielä keskeneräisiä. IEA on tunnistanut maakaasuteollisuuden metaanin hajapäästöt merkittäväksi kasvihuonekaasulähteeksi. (IEA, 2013a) Maakaasun pääkomponentin metaanin (CH₄) hiilidioksidiekvivalentti on 21 eli se on 21 kertaa hiilidioksidia voimakkaampi kasvihuonekaasu.

Taulukko 5. Fossiilisten polttoaineiden hiilipäästökertoimet ja sähköntuotannon päästöt verrattuna maakaasuun (IPCC 1996, IEA 2013a)

	Hiilipäästö- kerroin (tC/TJ)		Maakaasuun verrattuna		Sähköntuotannon päästöt (gCO ₂ /kWh)		Maakaasuun verrattuna	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Maakaasu	15,3		1,0		400		1,0	
Öljy	16,8	27,5	1,1	1,8	635	670	1,6	1,7
Kivihiili	25,8	29,1	1,7	1,9	785	925	2,0	2,3

Maakaasua pidetään siirrosvaiheen polttoaineena, jonka kautta pystytään siirtymään matala-hiilisempien energijärjestelmien käyttöön. Maakaasu on ollut johtava polttoainevaihtoehto tukemaan uusiutuvien energiamuotojen sähköntuotantoa, sillä se soveltuu erinomaisesti käytettäväksi ajoittain ja nopeasti ylösajettavilla tukigeneraattoreilla. (Stephenson et al. 2012) IEA pitää raportissaan *Golden Age of Gas* maakaasua kustannustehokkaana ratkaisuna päästöjen vähentämiseksi, sillä se palaa puhtaammin ja tehokkaammin kuin hiili tai öljy. (IEA, 2012) Nämä argumentit kannustavat lisääntyneeseen maakaasun käyttämiseen ja liuskekaasuesiintymien hyödyntämiseen. Vaikka maakaasu on muita fossiilisia polttoaineita vähäpäästöisempi vaihtoehto, kyseessä on silti fossiilinen polttoaine jolla on ilmastonmuutosta kiihdyttävä vaikutus. Vuonna 2012 maakaasu vastasi maailmanlaajuisista kasvihuonekaasupäästöistä noin viidesosaa. (IEA, 2013b) Esimerkiksi *Golden Age of Gasin* skenaariossa maakaasu korvaa muita fossiilisia polttoaineita ja sen rinnalle tulee ydinvoimaa sekä muita vähähiilisiä energialähteitä. Skenaarion toimenpiteillä ilmakehän CO₂-pitoisuus stabiloituu tasolle 650 ppm, minkä on arvioitu johtavan maapallon keskilämpötilan nousuun yli 3,5 °C, kun aiemmat tavoitteet ovat olleet 2 °C. (Stephenson et al. 2012)

4.3.2 Liuskekaasutuotannon ja kuljetusten kasvihuonekaasupäästöt

Vuonna 2011 EPA kaksinkertaisti arvionsa Yhdysvaltojen maakaasuteollisuuden metaanipäästöistä, liittäessään kokonaisarvioon liuskekaasutuotannon hajapäästöt. (EPA,

2014) Liuskekaasun tuotannosta syntyy konventionaalista maakaasun tuotantoa suuremmat kasvihuonekaasupäästöt, johtuen pääosin kahdesta tekijästä: Ensinnäkin saman kaasumäärän tuotantoon tarvitaan liuskekaasuesiintymillä enemmän kaivoja, joiden hyödyntämiseen tarvitaan enemmän pumppausta dieselmootoreilla. Toisekseen liuskekaasutuotannossa suurempi osa kaasusta täytyy ilmata tai polttaa soihdulla, sillä takaisinvirtaavan nesteen mukana tulee pidempään pieniä määriä kaasua, ennen kannattavan talteenoton alkamista. (IEA, 2012) Vesisärötys vaatii konventionaalista tuotantoa voimakkaampaa prosessointia varten kaasukaivojen sisäpuolen sementtipäällystämisen, jonka rakentamisen aikana kaasukaivo on avoinna ilmakehään. Vesisärötyksen jälkeen takaisinvirtaamavesi poistetaan ennen tuotannon varsinaista alkamista, jolloin alkuvaiheen kaasutuotannon metaania saattaa päästä ilmakehään. Yksittäisen kaasukaivon kokonaismetaanipäästöt kasvavat, jos vesisärötys joudutaan toistamaan kaasunsaannon parantamiseksi. Olemassa olevan arvion mukaan, suuren mittakaavan liuskekaasutuotannon metaanipäästöt vastaavat noin 15 % sen elinkaaren kasvihuonekaasupäästöistä. (Speight, 2013) Vuoden 2011 tarkastelussa, EPA määritteli uusiksi standardeiksi konventionaalisen maakaasun elinkaaren metaanipäästöille 0,38 tC/TJ ja arvioiksi liuskekaasun päästöille yli 0,60 tC/TJ eli noin 60 % maakaasua korkeammat. Wang Q. et al. on vertaillut kahdeksan eri tutkimusten konventionaalisen maakaasun sekä liuskekaasun elinkaaren metaanipäästöjä. Tutkimuksissa konventionaalisen maakaasun päästöt vaihtelivat 0,14–0,96 tC/TJ, keskiarvolla 0,38 tC/TJ, kun taas liuskekaasun päästöt välillä 0,14–0,6 tC/TJ, keskiarvolla 0,47 tC/TJ. (Wang, Q. et al. 2014) Metaanipäästötarkasteluissa vaihteluväli on suurempi konventionaaliselle tuotannolle, mutta liuskekaasutuotannon päästöjen keskiarvot olivat noin 20 % suuremmat.

Liuskekaasun kokonaiskasvihuonekaasupäästöt aiheutuvat tuotannon lisäksi kaasun putkikuljetuksesta sekä mahdollisesta LNG-tuotannon metaanipäästöistä. Erityisesti LNG-tuotannon ja -kuljetusten metaanipäästöjä ei ole vielä suuressa mittakaavassa tarkasteltu. (Susan Sakman, 2014) Yksittäisen kaivon kaasuntuotanto vaihtelee esiintymäkohtaisesti, jolloin saatu energianmäärä suhteessa hiilijalanjälkeen vaihtelee. Kuivien alueiden esiintymien vesisärötykseen täytyy kuljettaa suuria määriä vettä rekoilla. Koko elinkaaripäästöjä tarkastellessa on olennaista ottaa huomioon myös vedenkuljetukseen tarvittavan rekka liikenteen päästöt, mitkä lisäävät tuotannon ympäristöjalanjälkeä huomattavasti. (WRI, 2014)

EPA:n STAR-ohjelma pyrkii maakaasun- ja öljyntuotannon sekä niiden kuljetusten metaanipäästöjen vähentämiseen. Ohjelma perustuu vapaaehtoisuuteen ja se kannustaa yrityksiä hyödyntämään tunnettuja kustannustehokkaita teknologioita ja menetelmiä, pa-

rantamaan tuotannon tehokkuutta ja pienentämään metaanipäästöjä. EPA pyrkii ohjelmalla 50 % vähennyksiin öljy- ja kaasuteollisuuden metaanipäästöissä. Ohjelmassa on huomioitu kaasun putkivienti, mutta ei LNG päästöjä. (EPA, 2013) Yritysten ohjelmaan antamien tietojen luotettavuuteen liittyy kuitenkin epävarmuutta, sillä osa tiedoista lukeutuu liikesalaisuuksiin. (Speight, 2013) Tuotannon talteen ottamattoman kaasun polttaminen soihdussa on lainsäädännöllä edellytetty sekä kasvihuonekaasupäästöjen pienentämiseksi että turvallisuussyistä. Teollisuuden toimijat tunnistavat, että olisi järkevämpää soihdussa polttamisen sijaan käyttää kaasu esimerkiksi tuotannon tarvitseman sähkön tuottamiseen. Näin saataisiin pienennettyä tuotannon kokonaispäästöjä sekä lisättyä energiatehokkuutta. (IPAA, 2014)

4.3.3 Liuskekaasukaivot CO₂-päästöjen varastona

Hiilidioksidin talteenotto- ja varastointi eli CCS (carbon capture and storage) on yksi maailmanlaajuisesti tarkasteltu menetelmä ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. CO₂-päästöjen talteenotto on osoittanut lupaavia tuloksia keskitetyistä lähteistä, kuten voimalaitoksista, mutta mittavien kaasumäärien varastointi on osoittautunut haasteelliseksi. Yhdysvalloissa on tarkasteltu liuskekaasukaivojen hyödyntämistä kasvihuonekaasujen varastointiin.

DOE rahoitti vuonna 2013 tutkimusta, joka on keskittynyt liuskekaasutuotantoalueiden hyödyntämiseen CO₂-päästöjen varastoinnissa Marcellus-esiintymässä. CO₂-injektioinnilla voidaan samanaikaisesti saavuttaa parempi kaivon metaaninsaanto ja pienennetty CO₂-päästöjä. Injektioinnissa hiilidioksidi joko sitoutuu orgaanisten liuskekerrostumien pintaan tai täyttää vesisärötyskaivon ja särötyksessä kasvaneet säröt, joista metaani on vapautunut. Verrattuna yleensä tarkasteltujen suolapitoisten pohjavesiesiintymien hyödyntämiseen CO₂-päästöjen varastoina, liuskekaasuesiintymien kasvanut metaaninsaanto parantaa CO₂-varastoinnin taloudellista kannattavuutta. Lisäksi liuske-esiintymien hyödyntämisellä on mahdollisesti pienempi riski CO₂-vuotoihin, sillä esiintymien maaperä on osoittanut potentiaalia sitoa metaania. Liuskekaasukaivojen sijainnit ja esiintymien hyödyntämiseen vaadittu korkea kaivojen lukumäärä kasvattaa CO₂-varastoinnin laaja-alaisia mahdollisuuksia Yhdysvalloissa, eikä talteenotettuja CO₂-päästöjä tarvitsisi kuljettaa pitkiä matkoja. DOE totesi alustavien tutkimustulosten vaikuttavan lupaavilta. (Godec et al. 2013)

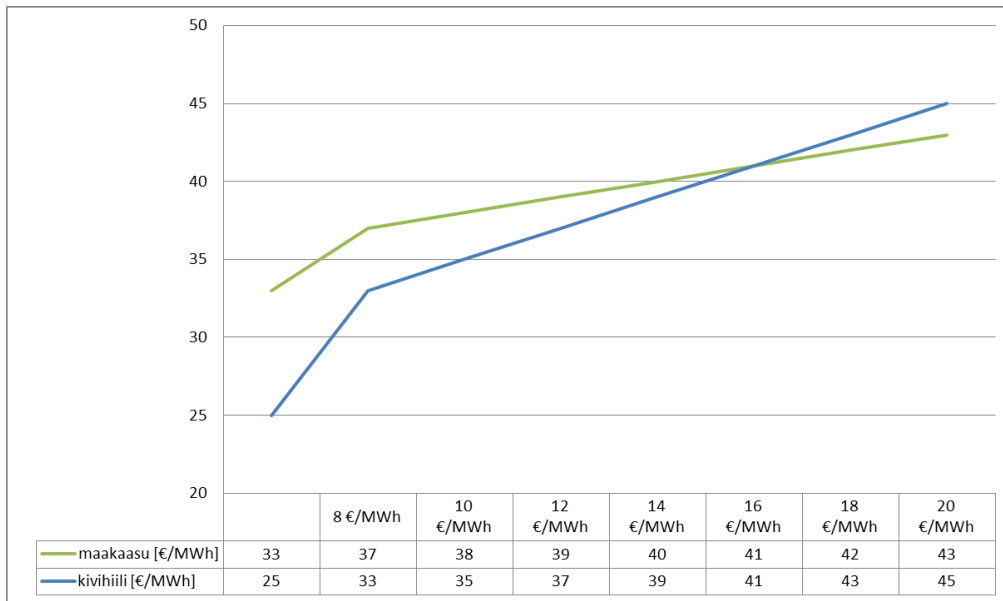
Devonian-Mississippiän -esiintymässä on tarkasteltu CO₂-varastoinnin toteutettavuutta laboratoriokokeilla sekä teoreettisin laskelmin. Tulokset osoittivat liuskekaasuesiintymien orgaanisen aineksen sitovan valikoivasti hiilidioksidia metaanin sijaan, ja siten lisäävän

metaaninsaantoa. Tosin kokeissa saatiin vain noin 1 % lisäys metaanintuotannossa. Yli 90 % injektoidusta kaasusta adsorboitui esiintymään välittömästi ja vain 5 % kaasusta jäi kaivoon absorboitumattomaksi vapaaksi kaasuksi. Tarkastellun viiden vuoden aikana alle 0,1 % varastoidusta CO₂-kaasusta tunkeutui pintaan. (Liu et al. 2013) Tutkimustulokset osoittavat liuskekaasutuotantokaivojen käytön CO₂-varastointiin olevan lupaava vaihtoehto ja teknisesti toteutettavissa. Kuitenkin nykyisissä kokeissa metaaninsaannon lisäys jäi vähäiseksi, joten menetelmän kannattavuus ei kasva merkittävästi. Molemmissa tutkimuksissa todetaan selvityksen olevan alkuvaiheessa ja lisätutkimuksen olevan tarpeen niin simuloinnilla kuin kokeellisin menetelmin.

4.3.4 Päästökaupan tai hiiliveron vaikutukset

Maiden ilmastositoumukset määrittävät oman kertoimensa fossiilisten polttoaineiden hintaan. Yleisesti voidaan ajatella maakaasun olevan houkutteleva vaihtoehto kivihillen ja öljyn korvaamiseksi, laajan ilmastositoumuksen tullessa. IEA on tarkastellut päästöhinnan vaikutusta sähköntuotannossa käytettyyn polttoaineeseen. Laskettaessa yhden sähköyksikön tuottamisen kustannuksia, lisätään mahdolliset polttoainekohtaisen CO₂-päästökustannukset polttoaineen hintaan ja muihin tuotannonkustannuksiin, mikä nostaa sen yksikköhintaa. Esimerkiksi Euroopassa kivihillen hinta on historiallisesti ollut maakaasun hintaa matalampi. Tällöin CO₂-päästöhinnan tulisi olla niin korkea, että kivihillellä tuotetun sähkönhinta nousisi maakaasun yksikköhintaa korkeammaksi, jotta maakaasun kannattavuus nousisi. Kuitenkin pitää huomioida että CO₂-päästöhintojen noustessa myös maakaasun käyttönhinta nousee. (IEA, 2011)

Euroopan keskimääräinen maakaasun hinta oli noin 33 €/MWh ja kivihillen noin 25 €/MWh vuonna 2013. (European Commission, 2013b) Kuvassa 10 on vertailtu päästöoikeuden vaikutuksia maakaasulla ja kivihillellä tuotetun sähkönhintaan.



Kuva 10. Päästöoikeuden vaikutus maakaasulla ja kivihiilellä tuotetun sähkön hintaan Euroopassa 2013.

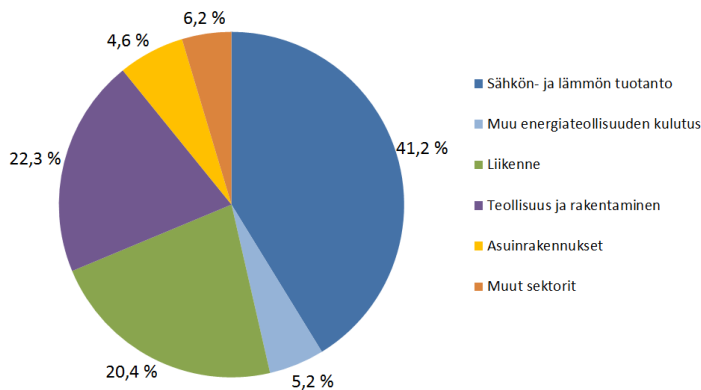
Maakaasulla tuotetulle sähkölle on laskettu tarvittavan päästöoikeuden hinnasta 50 %. Vuoden 2013 hintatasolla laskettuna, nähdään että päästöoikeuden hinnan pitää olla yli 16 €/MWh, jotta maakaasun korvaaminen kivihiilellä olisi kustannustehokas menetelmä vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Vuonna 2013 päästöoikeuden hinta pysyi keskimäärin 4-5 €/tCO₂. IEA standardeilla sähköntuotannon hiilidioksidipäästöt ovat maakaasulle 0,4 tCO₂/MWh ja kivihiilelle 0,86 tCO₂/MWh (IEA, 2013a), jolloin kustannukset vuoden 2013 päästöoikeuksien hinnoilla ovat maakaasulle 1,6-2 €/MWh ja kivihiilelle 3,4-4,3 €/MWh. Kuvassa lasketuilla päästöoikeuksien maakaasunkäyttöön kannustavalla hinnalla, maakaasun päästöoikeuksien kustannukset olisivat 6,4 €/MWh ja kivihiilen 13,8 €/MWh.

4.3.5 Liuskekaasun kasvihuonekaasupäästöjen vähennyspotentiaali

Johtuen maakaasun pienemmästä hiili-intensiivisyydestä, se pienentää kasvihuonekaasupäästöjä kaikilla energiaa käyttävillä sektoreilla korvattaessaan kivihiiltä tai öljyä. IEA on tunnistanut voimalaitosten käyttämän polttoaineen vaihtamisen (fuel-switching) kivihiilestä tai öljystä maakaasuksi, olevan lyhyen tähtäimen merkittävimpiä CO₂-päästöjen vähennysmenetelmiä, joka voidaan suorittaa olemassa oleville tuotantolaitoksille. (IEA, 2011) Liuskekaasun tuotannon ansiosta, kasvaneella maakaasun käytöllä kivihiilen sijaan on Yhdysvalloissa saavutettu lyhyessä ajassa jo 8 % kasvihuonekaasupäästöjen vähennykset. (ANGA, 2014) Todellisen päästöjen vähentämisen kustannustehokkuuden todetaan riippuvan hyödykkeiden markkinahinnoista. Hiiliveron tai päästökaupan mukaiset hinnat tuotannon CO₂-päästöille vaikuttavat kannattavuuteen. Polttoaineen vaihtaminen maa-

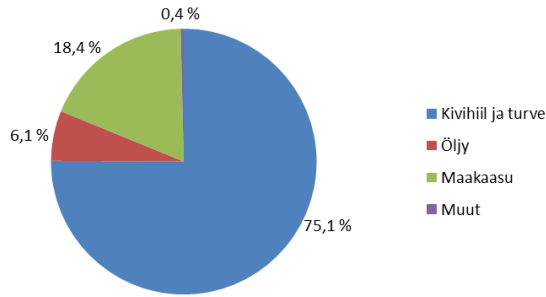
kaasuksi vähentää päästöoikeuksien ostotarvetta ja lisää käytön kannattavuutta. (IEA, 2011)

Kuvassa 11 on esitetty maailman CO₂-päästöjen lähteet sektoreittain vuonna 2010. Kuvasta nähdään sähkön- ja lämmöntuotannon vastaavan 41,2 % maailman kokonaiskasvihuonekaasupäästöistä. Teollisuuden ja liikenteen päästöt muodostavat kumpikin yli 20 % päästöistä. (IEA, 2013a)



Kuva 11. Maailman CO₂-päästöt sektoreittain 2010 (EIA, 2013a)

Kuvassa 12 on jaoteltu maailman sähkön- ja lämmöntuotannon polttoaineet. Maailmanlaajuisesti sähkön- ja lämmöntuotannosta noin 75 % tuotetaan kivihieillä ja turpeella, joten sähkön- ja lämmöntuotannossa voi todeta olevan suuri potentiaali merkittäviin päästövähennyksiin. Kappaleessa 4.3.1 esitettyjen IPCC:n määrittämien polttoaineiden hiilipäästökertoimien avulla lasketaan hypoteettinen tilanne, jossa korvataan kaikki sähkön- ja lämmöntuotannon kivihieillä ja turve maakaasulla. Kivihieiden päästöjen ollessa 1,7-1,9 -kertaiset verrattuna maakaasuun, saadaan sähkön- ja lämmöntuotannon kokonaispäästöjen vähennykseksi 30-35 % siirryttäessä maakaasuun. Tämä vastaa 3 640-4 240 miljoonaa tonnia hiilidioksidipäästöjä, millä päästäisiin noin 11,5-13,5 % maailmanlaajuisen hiilidioksidipäästöjen vähennykseen. Olisi utopistista siirtyä kaasunkäyttöön sähkön- ja lämmöntuotannossa näin laajalti, mutta potentiaali muutokseen on olemassa. Tästä nähdään kaasulla olevan potentiaalisesti suuri vaikutus jo yhdellä sektorilla. Liikenteen polttoaineena, kaasun käyttämisen siirtymäajan voidaan ajatella olevan tuotantolaitoksia pidempi. Tarvitavasta kaasunkäyttöä tukevasta, kattavan infrastruktuurin rakentamisesta ja ajoneuvojen polttomootoreiden muuntamisesta johtuen, voidaan ajatella liikenteen kaasunkäyttöön siirtymisessä kestävän vuosikymmenen. (ANGA, 2014) Öljyn korvaaminen kaasulla millä tahansa sektorilla olisi kustannustehokas menetelmä, johtuen öljyn korkeasta hinnasta.



Kuva 12. Sähköntuotannon polttoaineet

Yksi liuskekaasun mahdollinen ilmastonmuutosta hillitsevä, epäsuora vaikutus on vesisärötettyjen kaivojen hyödyntäminen CO₂-päästöjen varastointiin. Kaivojen hyödyntäminen on vasta tutkimus- ja kehitysvaiheessa, mutta se on alustavasti vaikuttanut lupaavaltta. Varastointikyky vaihtelee kaivokohtaisesti, mutta tarkastellussa Devonian-Mississippiän -esiintymässä, saatiin yhdelle kaivolle 5 vuoden ajalta 4 x 10⁴ tCO₂ injektointi. Tämän todetaan vaihtelevan voimakkaasti erityisesti maaperän ominaisuuksien, kuten orgaanisen aineksen määrän ja huokosten koostumuksen mukaan. (Liu et al. 2013) Yhdysvalloissa porattujen kaivojen CO₂-varastointipotentiaali on merkittävä. Vuonna 2013 Yhdysvalloissa porattiin yhteensä noin 24 000 vesisärötyskaivoa. (DOE, 2014) Olettaessa, että näihin kaikkiin voi injektoida keskimäärin tutkimuksessa tarkastellun 4 x 10⁴ tCO₂, saadaan kokonaismääräksi noin 9,6 x 10⁸ tCO₂. IEA:n mukaan Yhdysvaltojen polttoaineiden poltosta aiheutuneet hiilidioksidipäästöt olivat vuonna 2013 52,9 x 10⁸ t CO₂-ekvivalenttia. (IEA, 2013a) Tämän perusteella, pelkästään vuoden 2013 porattujen kaivojen hyödyntäminen osoittaa merkittävän mahdollisuuden CO₂-päästöjen varastointiin. Vesisärötettyjen kaasukaivojen hyödyntämisellä on potentiaalia hillitä ilmastonmuutosta.

Liuskekaasun ilmastonmuutosvaikutusta arvioitaessa suurin epävarmuus aiheutuu kokonaiselinkaaren eli tuotannon ja kuljetusten päästöistä. Metaanista aiheutuu 21-kertainen ilmastonmuutosvaikutus verrattuna hiilidioksidiin, joten hajapäästöillä ja vuodoilla on suuri vaikutus. LNG-tuotantoon ja -vientiin liittyvät päästöt ovat vielä lähes kokonaan tarkastelematta Yhdysvalloissa. Australiassa käynnissä olevat LNG-projektit lisäsivät Länsi-Australian CO₂-päästöjä 2 %. Tämä osoittaa niiden ilmastonmuutosvaikutuksen olevan potentiaalisesti merkittävä. Kaasun hajapäästöjen kontrollointi on suuri haaste, niin putkitoimituksissa ja LNG:ssä kuin tuotannossakin. On mahdollista, ettei hajapäästöjä edes pystytä merkittävästi kontrolloimaan. (Susan Sakman, 2014)

Kasvanut globaali liuskekaasun tuotanto voi tarjota jonkin verran edullisemmän vaihtoehdon lyhyen tähtäimen päästötavoitteiden saavuttamiseksi. Pöyryn 2013 tekemän tutkimuksen perusteella liuskekaasuntuotanto Euroopassa ei vähentäisi uusiutuvien energioi-

den osuuden kasvattamista vaan vähentäisi sähköntuotannon kivihiilen käyttöä, kuten Yhdysvalloissa tapahtui. (Pöyry, 2013b) Ristiriitaiseksi tietoisessa kaasun käytön voimakkaassa lisäämisessä mielletään, että korvata kivihiili kokonaankin maakaasulla, ei tällä toimenpiteellä saavuteta alkuperäisiä ilmastonmuutoksen hillitsemistavoitteita. (Syri et al. 2013) Myös IEA on ilmaissut, että maakaasulla, joka on fossiilinen polttoaine, ei päästä pitkäaikaistavoitteisiin eli 2°C keskilämpötilan nousuun. (IEA, 2012) Kaasun käyttöön siirtymisen lisäksi on olennaista jatkaa uusiutuvien energiamuotojen sekä CCS-teknologioiden investointeja, jotta tavoitteita voitaisiin saavuttaa. Liuskekaasukaivojen hyödyntäminen CO₂-päästöjen varastointiin voisi tarjota mahdollisen yhteishyödyn.

4.4 Sosiaaliset vaikutukset ja yleinen hyväksyttävyys

Liuskekaasuvarantojen hyödyntämisen nopea leviäminen on aikaansaanut epävarmuutta vesisärötyksen todellisista ympäristö- ja terveysvaikutuksista. Tämä on aiheuttanut runsaasti vastustusta, mikä on tietyissä maissa ja osavaltioissa johtanut vesisärötysprosessin ja esiintymien hyödyntämisen kieltämiseen. Yleisimpinä perusteluina tähän on ollut luotettavan tutkimusdatan puuttuminen. Laaja-alainen hyödyntäminen on alkanut vasta 2008, eivätkä vesisärötysprosessiin ja siinä käytettäviin kemikaaleihin liittyvät todelliset ympäristö- ja terveysongelmat ole vielä kaikilta osin tiedossa. Yhdysvalloissa yksityishenkilöiden luotto niin energiayritysten kuin ympäristöjärjestöjen esittämiin tuloksiin tuotannon vaikutuksista on vähentynyt. (Susan Sakman, 2014)

University of Texas Austinissa tehdyn tutkimuksen perusteella Yhdysvalloissa 63-70 % eri medioissa esiintyneestä liuskekaasuun liittyvästä uutisoinnista on ollut negatiivisvaikutteista. Kuitenkin lehtiartikkeleista vain harvoissa oli viitattu tieteelliseen tutkimukseen vaikutusten arvioinnissa. (UT Austin, 2012) Liuskekaasun ympärillä on voimakasta propagandaa puolesta ja vastaan. Yhdysvalloissa toimivat öljy- ja kaasuyhtiöt lobbaavat omien tarpeidensa mukaisesti ja ovat esimerkiksi kustantaneet yliopistojen ja tutkimuslaitosten tutkimuksia, mikä herättää kysymyksiä niiden puolueettomuudesta. (Susan Sakman, 2014) Puolestaan vuonna 2010 ilmestynyt ja paljon puhuttanut dokumentti GasLand keskittyy liuskekaasun hyödyntämisalueiden asukkaiden kroonisiin terveysongelmiin, jotka ovat jäljitettävissä ilmanlaadun huonontumiseen ja pilaantuneeseen kaivo- tai pintaveteen. Osassa tapauksista asukkaat olivat saaneet yrityksiltä hyvityksiä, pystyäkseen korvaamaan pilaantuneet vesilähteet juotavaksi kelpaavalla vedellä tai vedenpuhdistuslaitteistolla. Dokumentissa esitettyjen sairauksien ja liuskekaasun välisen yhteyden todenmukai-

suutta on kuitenkin kritisoitu. Dokumentti kuitenkin johti voimakkaaseen ruohonjuuritasolla tapahtuvaan vastustukseen ja kasvaneisiin lainsäädäntötoimenpiteiden vaatimiseen, niin paikallisella kuin osavaltio- ja kansallisella tasolla. (Rahm, 2011)

Euroopan ympäristölainsäädäntö on lähtökohtaisesti Yhdysvaltoja tiukempi, joten liuskekaasuesiintymien hyödyntäminen tulee oletettavasti olemaan kalliimpaa. Varantojen täysin hyödyntämättä jättäminen on epätodennäköistä, johtuen niiden työllistävästä ja talousvaikutuksesta sekä mahdollisuudesta kasvattaa huoltovarmuutta ja energiaomavaraisuutta. Toistaiseksi Euroopasta puuttuu liuskekaasuun liittyvä lainsäädäntö, mikä tullaan todennäköisesti asettamaan ennen liuskekaasuvarojen hyödyntämistä jäsenmaissa. Euroopan komissio teetti vuonna 2013 julkisen kuulemisen liuskekaasuun liittyen, johtuen jäsenmaiden kasvaneesta kiinnostuksesta hyödyntää Euroopan omia varantoja. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää sidosryhmien ja suuren yleisön suhtautuminen aiheeseen, jotta ymmärrettäisiin paremmin ihmisten näkemyksiä ja huolenaiheita epäkonventionaalisiiin fossiilisiin polttoaineisiin liittyen. Tutkimuksen tuloksena saatiin, että enemmistö eurooppalaisista suhtautuu liuskekaasutuotantoon varauksella tai täysin kielteisesti. Suurimman huolen aiheuttivat liuskekaasutuotannon ympäristö- ja terveysvaikutukset. Myönteisemmin liuskekaasuun suhtauduttiin Itä-Euroopassa, esimerkiksi Puolassa, Sloveniassa, Liettuassa ja Unkarissa. (European commission, 2013a) Tarve liuskekaasun tuomille talouskasvumahdollisuuksille tunnustetaan kyseisissä maissa merkittävämmäksi kuin muualla Euroopassa. Myönteisempää suhtautuminen oli myös maissa, joilla on perinteitä raskaassa teollisessa toiminnassa. Niissä tuotantoon on totuttu, joten se koetaan hyväksyttävämmäksi. Tämä on yhteneväistä tuotantoon suhtautumiseen eri Yhdysvaltojen osavaltioissa.

Yhdysvalloissa haastateltujen ammattilaisten mukaan ympäristöjärjestöt ehtivät Eurooppaan ensin, mistä johtuen keskustelu on painottunut huoleen ympäristövaikutuksista. Muuten energiayritykset olisivat todennäköisesti saaneet toisenlaisen toimintaympäristön keskustelulle koskien liuskekaasuntuotannon aloittamista. (Susan Sakman, 2014) Avain liuskekaasun hyödyntämisen alkamiseen Yhdysvaltojen ulkopuolella on hyväksyttävyyden lisäämisessä. Komission tutkimuksen perusteella, vastaajat pitivät yhtenevästi tärkeänä mahdollisten haasteiden tunnistamista sekä läpinäkyvyyttä tiedonjaossa. Tämä vaatii puolueettomia tieteellisiä tutkimuksia vaikutuksista ja ihmisten tietoisuuden lisäämistä. Tutkimus osoitti myös kansalaisten toivovan yhtenäisiä liuskekaasun hyödyntämiseen liittyviä säädöksiä, jotka laadittaisiin EU-tasolla. (European commission, 2013a)

4.5 Yhteenveto

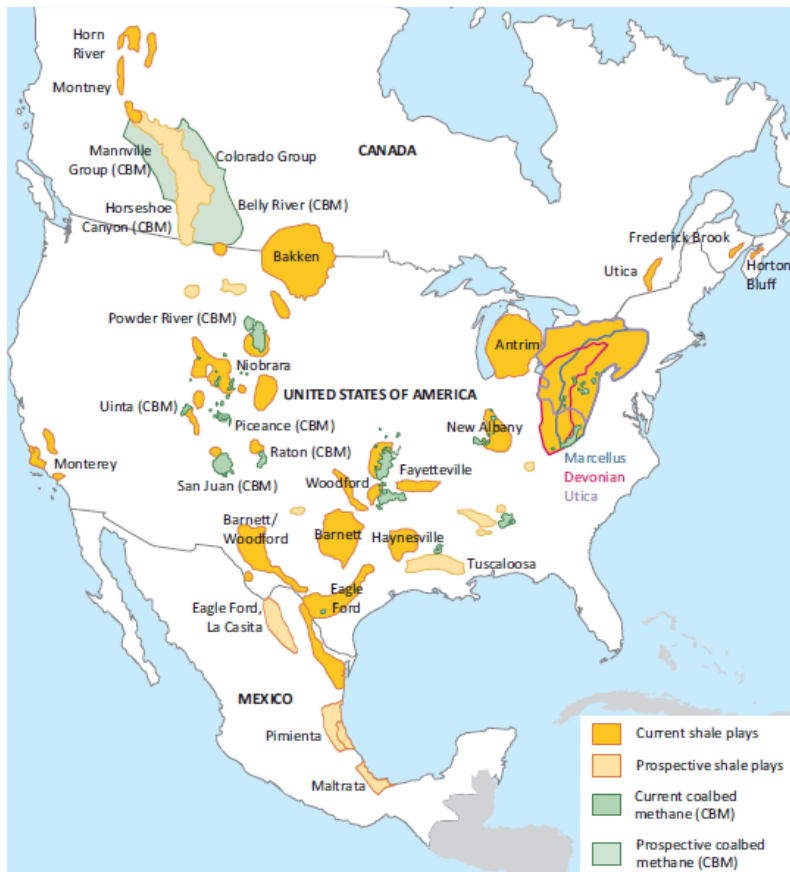
Liuskekaasutuotanto on jatkuvassa kehityksessä. Prosessinhallintamenetelmät paranevat, hyödyntäminen tulee energiatehokkaammaksi ja sen ympäristövaikutukset pienevät. Prosessi on jatkuvassa oppimiskäyrässä, johtuen sekä ymmärrystason kasvamisesta että tiukentuvista ympäristövaatimuksista. Liuskekaasun ympäristövaikutuksiin liittyvät tutkimustulokset mielletään puolueellisiksi, mistä johtuen tuotanto on kohdannut alueittain voimakasta vastustusta. Maakaasulla voidaan saavuttaa lupaavia tuloksia ilmastonmuutoksen hillitsemisessä, mutta tuotannon ja kuljetusten hajapäästöt ovat haasteellisia. Korvaamalla kivihiilen käyttöä maakaasulla, saadaan käyttökohteen hiilidioksidipäästöt yli puoliintumaan. Liuskekaasukaivot tarjoavat merkittävää varastointikapasiteettia hiilidioksidin talteenottoon, mikä on mielenkiintoinen vaihtoehto ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi.

TUTKIMUSAINEISTO JA HAASTATTELUJEN TULOKSET

5. LIUSKEKAASUVALLANKUMOUS YHDYSVALLOISSA

DOE:n mukaan Yhdysvallat on liuskekaasun ansiosta muuttunut ”janoisesta” kaasuntuontimaasta, kohti nopeasti omavaraisuusastettaan nostavaa, teollista renessanssiaikaansa elävää suurvaltaa. Konventionaalisten maakaasuvarojen ehtyminen ja riippuvuus ulkomaisesta energiantuonnista ovat motivoineet vesisärötys- ja vaakaporaustekniikoiden kehitykseen Yhdysvalloissa. Nämä ovat mahdollistaneet todennettujen, aikaisemmin taloudellisesti kannattamattomien liuskekaasuesiintymien hyödyntämisen. (DOE, 2014) Yhdysvalloissa on maailman ensimmäisenä aloitettu valtava kaasuntuotanto liuskekaasuesiintymistä, kun muualla maailmassa ollaan vasta varantojen kartoitusvaiheessa. Liuskekaasuvarat ovat muutamassa vuodessa mullistaneet Yhdysvaltojen energianäkymät, kasvattaen kaasuvarantojen riittävyden nykyisellä kulutuksella yli 100 vuodeksi. (Wang, Q. et al. 2014) DOE:n mukaan hallitukselle merkittävimmät tekijät hyödyntää liuskekaasuesiintymiä ja kasvattaa kaasun käyttöä ovat ilmastomuutoksen hillintä, energiaomavaraisuus ja kaasun palamisen puhtaus. Liuskekaasuvallankumouksella yhtäaikaisesti saavutetut kasvihuonekaasupäästöjen väheneminen ja teollisuuden kasvun aikaansaama talouskasvu, ovat olleet ennenkuulumatonta maailmassa. (DOE, 2014) Tässä luvussa käsitellään Yhdysvalloissa tapahtunutta mullistusta. Kursivoituna olevat lähteet ovat peräisin yhdysvaltalaisen toimijoiden haastatteluista.

Yhdysvaltojen hallituksella on ollut keskeisenä tavoitteena parantaa energiaomavaraisuutta alkaen vuoden 1973 öljykriisistä, jolloin Lähi-idän öljyntuottajamaat saattoivat Yhdysvallat öljykauppasaartoon. Öljykriisin myötä nousseet öljyn ja kaasun hinnat sekä energiapula, saivat hallituksen investoimaan vaihtoehtoisten kotimaisten energialähteiden, kuten liuskekaasun, tutkimukseen ja kehitykseen. DOE perusti Eastern Gas Shale Projectin, jossa kartoitettiin itäisten osavaltioiden liuskekaasupotentiaalia, laajentuen myöhemmin muuallekin Yhdysvaltoihin. Kartoituksen ansiosta esiintymät olivat jo osittain todennettuja ennen hyödyntämistekniikoiden kehittymistä. (Wang, Q. et al. 2014) Kuvassa 13 on esitetty Pohjois-Amerikan liuskekaasuesiintymät. (IEA, 2012) Liuskekaasuesiintymät ovat leviittäytyneet 48 osavaltion alueelle, joista kaikissa ei tuotantoa ole käynnistetty. Yhdysvalloissa porattiin vuoden 2013 aikana noin 24 000 liuskekaasukaivoa ja kaasuntuotanto oli käynnissä noin 230 000 epäkonventionaalisessa tuotantokaivossa. (DOE, 2014)



Kuva 13. Pohjois-Amerikan liuskekaasuesiintymät (IEA 2012)

Yhdysvaltojen konventionaaliset maakaasulähteet alkoivat hiipua noin 10 vuotta sitten. Tästä huolimatta maakaasun osuuden lisäämistä primäärienergianlähteenä oli suunniteltu Yhdysvalloissa jo ennen liuskekaasun hyödyntämisen alkamista. Tämä näkyy tavoitteista kasvattaa Yhdysvaltojen LNG-tuontia ja uusien tuontiterminaalien rakentamisprojekteista. (DOE, 2014) Todellisen läpimurron liuskekaasun hyödyntämisessä teki pieni itsenäisesti toimiva porausyrittäjä Mitchell Energy & Development Corporation, joka mielletään liuskekaasutuotannon pioneeriksi. Yritys sai korkeiden maakaasuhintojen motivoimana tuotettua taloudellisesti kannattavasti liuskekaasua, yhdistelemällä vaakaporausta ja vesisärötystä. Liuskekaasun ympärillä on paljon pieniä toimijoita ja puhutaan, että menestyminen liuskekaasun tuotannossa on perujaan Yhdysvaltojen voimakkaasta yksityisyrittäjyydestä ja innovatiivisesta ilmapiiristä. (IPAA, 2014)

Maanlaajuisesti vallankumoukseksi liuskekaasutuotanto levittyi Yhdysvaltojen fossiilisten polttoaineiden tuotantoa ja hyödyntämistä kannustavan lainsäädännön ansiosta. Toinen merkittävä tekijä on Yhdysvaltojen yksityisten maanomistajien mineraalioikeus, jonka ansiosta tontin omistajat hyötyvät taloudellisesti varantojen hyödyntämisestä tontillaan. Yhdysvalloissa on pitkä historia öljyn- ja kaasuntuotannossa, joten maakaasutuotantoon liittyvä tekninen osaaminen on vahvaa ja monessa osavaltiossa on hyödyntämisen mahdol-

listava lainsäädäntö kohdallaan. Vuoden 2014 alussa keskustelu Yhdysvalloissa liuskekaasun ympärillä liikkui taloudellisista hyödyistä sen aiheuttamiin ympäristöhaasteisiin ja mahdollisiin terveysvaikutuksiin, sillä teknologia on nuorta ja laajalle alueelle levinnyttä. Kuitenkaan näiden haasteiden ei nähty olevan suuruudeltaan niin merkittäviä, että ne pysäyttäisivät tuotannon menestyksen. (DOE 2014)

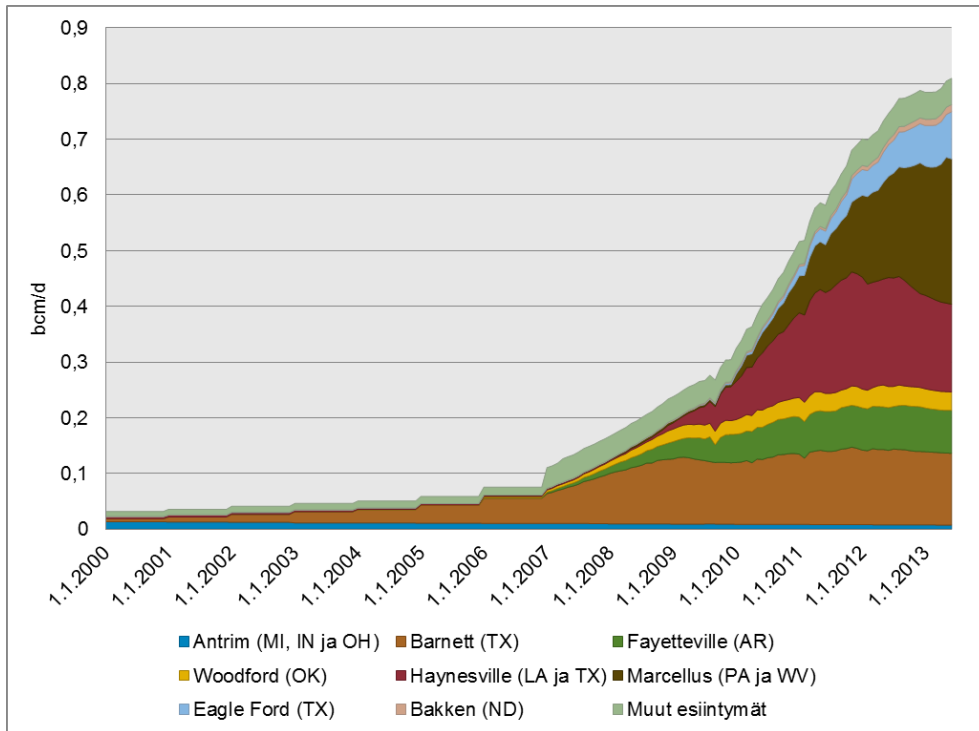
EIA:n arviot liuskekaasutuotannon kasvusta ovat merkittävät. Oletuksena on, että vuoteen 2035 mennessä liuskekaasu tulee vastamaan 50 % kaikesta Yhdysvaltojen kaasuntuotannosta ja määrän kasvavan 340 bcm päivässä. (IEA, 2012) Brookings uskoo liuskekaasukehityksen jatkumiseen, ja sen pitävän Yhdysvaltojen kaasun ja energian hinnat matalina vähintään muutaman vuosikymmenen ajan. (Brookings, 2014) U.S. National Renewable Energy Laboratory (NREL) puolestaan ei uskalla arvioida, miten pitkään vallankumous tulee jatkumaan. He eivät osanneet ennustaa liuskekaasun tulemistakaan, vaan tuotannon valtava kasvu oli suuri yllätys kaikille. (NREL, 2014)

5.1 Liuskekaasun tuotanto

Jo ennen liuskekaasuvallankumousta, Yhdysvalloissa oli suunniteltu kaasunkulutuksen kasvattamista niin sähköntuotannossa, teollisuudessa kuin liikennepolttoaineenakin. (DOE, 2014) Yhdysvaltojen perinteinen maakaasuntuotanto saavutti huippunsa 2000-luvun alussa, jolloin Yhdysvallat alkoi kasvattaa LNG-tuontiaan. Putkituontina maakaasu on tullut Yhdysvaltoihin Kanadasta ja LNG-tuontina Trinidad & Tobagosta, Qatarista ja Ymenistä. (BP, 2013a) Vielä vuonna 2007 U.S. Energy Information Agency (EIA) ennusti LNG-tuonin kasvavan, jotta pystytään täyttämään kasvava ulkomaalaisen kaasun tarve. (Wang, Q. et al. 2014)

Liuskekaasun tuotanto on kasvanut erittäin nopeasti vuodesta 2000 vuoteen 2012, millä välillä siinä tapahtui peräti 25-kertainen kasvu. Vuoden 2012 jälkeen tuotannon kasvussa on havaittavissa hidastumista. Kehitys ennen vuotta 2012 on historian suurimpia lyhyen aikavälin kasvuja tuotannossa. Kuvassa 14 on esitetty esiintymäkohtaisesti liuskekaasun päivittäinen tuotanto bcm/d. Pelkästään vuodesta 2010 kasvua on ollut 250 %. Liuskekaasutuotanto kasvoi käytännössä lähes nollatasosta vuonna 2000, vastaamaan vähäistä tuotantoa vuonna 2007, johtaen eksponentiaaliseen kasvuun 2010. (NREL, 2014) Merkittävimmät liuskekaasua tuottavat esiintymät ovat Marcellus, Haynesville ja Barnett. (EIA, 2013) Erityisesti Marcellus-esiintymän nopeasti alkaneen tuotannon kasvu on ollut valta-

vaa vuodesta 2011 eteenpäin. Vuoden 2014 alussa liuskekaasu vastasi jo 40 % Yhdysvaltojen maakaasuntuotannosta. Korkeat kaasunhinnat olivat kannustaneet poraamiseen, mutta kaasunhintojen vaihtelun myötä myös tuotantomäärät ovat vaihdelleet. (NREL, 2014)



Kuva 14. Liuskekaasun esiintymäkohtainen tuotanto päivässä (EIA, 2013)

Americal Natural Gas Alliance ANGA on arvioinut Yhdysvaltojen kaikkien sektoreiden kaasunkulutuspotentiaalin olevan +25 % nykyisestä. Kaasunkulutus on tällä hetkellä 2,0 bcm/d ja sen on arvioitu nousevan jo kuudessa vuodessa vastaamaan 2,5 bcm/d. Kulutuspotentiaali on jo tänä päivänä olemassa voimalaitoksissa, missä kaasu on korvannut polttoaineena merkittäviä määriä kivihiltä. (ANGA, 2014) Kaasunhinta tulee pitkälti määräämään, missä määrin kaasu tulee tulevaisuudessa korvaamaan muita polttoaineita. Maakaasun kilpailukyky paranee myös mahdollisilla CO₂-veroilla, jolloin sen käyttöön siirtyminen on kustannustehokas menetelmä vähentää tuotannon kasvihuonekaasupäästöjä. DOE näkee maakaasun käytön taloudellisimpana menetelmänä ilmastonmuutoksen hillitsemisessä. (DOE, 2014)

DOE ei reguloi maakaasun hintoja, vaan Yhdysvaltojen kaasun hinnoittelujärjestelmä perustuu kysyntään ja tarjontaan. Jatkuva tuotannon kasvu suhteessa kysyntään on johtanut kaasun hintojen laskuun vuoden 2005 lopusta alkaen. (EIA, 2014a) Vuodesta 2012 on havaittu hiipumista kaasuntuotantomäärien jatkuvassa kasvussa. (Wang, Q. et al. 2014) Kaasun hinnanvaihtelu on myös ajanut porausyrityksiä konkurssiin, hinnan laskiessa liian

matalalle. (Brookings, 2014) Matalilla kaasunhinnoilla, ei ole ollut enää kannattavaa porata pelkästään kuivia kaasuesiintymiä, vaan painopiste on toistaiseksi siirtynyt märkiin esiintymiin, joista saadaan kaasun lisäksi NGL:a, kuten kondensaatteja sekä liuskeöljyä. (DOE, 2014) Märkien esiintymien tuotteet ovat arvokkaampia ja kaasua tuotetaan pikemminkin sivutuotteena, joten sen hinnanvaihtelu ei vaikuta niin voimakkaasti tuotannon kannattavuuteen. (Brookings, 2014) Porauksen jatkamiseen kuivissakin esiintymissä on kuitenkin painetta, sillä porausyritykset maksavat maanomistajille kuukausittaista vuokraa, myös kun tuotantoa ei ole käynnissä. (DOE, 2014) Käytännössä yritykset pystyvät rakentamaan tuotantoinfrastruktuurin valmiiksi ja odottaa kaasunhintojen nousua. (Brookings, 2014) Kysynnän noustessa voidaan olettaa kaasunhinnan nousevan ja tuotannon kasvavan vastaamaan kysyntään.

Liuskekaasuvallankumous tapahtui Yhdysvaltojen taloudentilan ollessa tarpeeksi heikko ja tuotannon kasvu on tapahtunut voimakkaasti alueilla, joilla ei varsinaisesti ollut muita vaihtoehtoja talouskasvun edistämiseksi. Vuonna 2013 tuotannon hyväksyivät herkimmin alueet, jotka eivät olleet nousseet lamasta. Johtuen mahdollisuuksista kasvattaa varallisuuttaan maallaan tapahtuvasta tuotannosta saatavilla tuloilla, asukkaat hyväksyvät tuotannon riskit herkemmin, huolimatta voimistuneesta keskustelusta ympäristövaikutuksiin liittyen. Talouden tilan parantuessa, nähdään kasvaneiden toimeentulovaihtoehtojen muuttavan tilannetta. (Susan Sakman, 2014) Liuskekaasutuotannon kasvu on myös keskittynyt alueille, joilla on pitkä historia öljy- ja kaasuteollisuudessa ja ovat siten tottuneet niiden tuomaan aktiiviseen teolliseen toimintaan. Esimerkiksi Teksasissa öljyteollisuuden merkitys niin kansantaloudelle, kulttuurille kuin akateemiselle tutkimuksellekin on mittava. Näillä alueilla liuskekaasutuotantoonkin suhtauduttiin positiivisemmin, sillä erilaisiin porauskaivoihin on totuttu. Poikkeuksiakin on esiintynyt, esimerkiksi Coloradossa on ollut paljon öljy- ja kaasutuotantoa, mutta he ovat kieltäneet liuskekaasutuotannon. Pennsylvaniassa Marcellus-esiintymän alueella, puolestaan kivihiiliteollisuuden negatiiviset vaikutukset ovat todennäköisesti johtaneet skeptiseen suhtautumiseen myös liuskekaasutuotantoa kohtaan. (Susan Sakman, 2014)

Yhteisön vastustuksella pystytään kieltämään kokonaan alueella tapahtuva liuskekaasutuotanto. Ympäri Yhdysvaltoja on useita kaupunkeja, jotka eivät halua raskasta teollista tuotantoa alueelleen, sillä ne tulevat toimeen ilman sen tuomaa taloudellista kehitystä. Esimerkiksi koko New Yorkin osavaltio löysi keinon kieltää tuotannon alueellaan, sillä New Yorkin kaupungin asukkaat olivat tuotantoa vastaan. Puolestaan kaupungin ulkopuolella asuvat olivat tuotannon puolesta, sillä esiintymät olivat sijoittuneet heidän omistamilleen maille ja heitä koskisi sen tuoma talouskasvu. (Brookings, 2014) Merkittävä osa Floridan

liikevaihdosta tulee turismista, joka puolestaan mahdollisesti kärsisi liuskekaasuteollisuudesta, joten voidaan olettaa, ettei osavaltiossa aloiteta tuotantoa. Tuotannon kieltäneillä alueilla on muita tulonlähteitä ja mahdollisuuksia kasvattaa talouttaan. (*Susan Sakman, 2014*)

5.2 Lainsäädäntö ja vaikutukset toimijoihin

Historiallisesti kaikki Yhdysvaltojen lainsäädäntö tukee voimakkaasti fossiilisten polttoaineiden tuotantoa, verolainsäädännöstä ympäristösäädöksiin. Fossiilisten polttoaineiden aktiviteetteihin liittyviä tapauksia on soviteltu herkemmin ja yksityishenkilöt saavat tulojen lisäksi verohelpotuksia energiantuotannosta. (*Susan Sakman, 2014*) Tämä puolestaan on edistänyt osaltaan myös liuskekaasun tuotantoa. Ilmastonmuutos on tällä hetkellä tärkein yksittäinen edistäjä Yhdysvaltojen energialainsäädännölle. Kuitenkin tuotannon toimijat näkevät ilmastonmuutospolitiikan potentiaalisena pullonkaulana. Se aiheuttaa epävakautta toimintaympäristöön, sillä maakaasu on fossiilinen polttoaine ja uusien säädösten vaikutukset saattavat olla negatiivisia. (*ANGA, 2014*) DOE näkee liuskekaasuvallankumouksen tapahtuneen niin nopeasti, etteivät monet osavaltiot ehtineet reagoida siihen lainsäädännöllään. (*DOE, 2014*)

Yhdysvalloissa liuskekaasutuotantoa säädellään pääosin osavaltiokohtaisesti. DOE kokee osavaltiotasolla tapahtuvan tuotannon säätelyn toimivaksi menetelmäksi, sillä Yhdysvaltojen laajuisesti tapahtuvan tuotannon toimintaolosuhteet ja tuotantohistoriat vaihtelevat. Osavaltiot tietävät itse parhaiten, mitkä vaatimustasot soveltuvat sille halutun ympäristövaikutuksen minimoimiseksi. Department of Interior säätelee valtion mailla tapahtuvaa liuskekaasutuotantoa. Useat osavaltiot ovat ottaneet tästä mallia oman liuskekaasutuotantoa koskevan lainsäädännön muodostamiseen. Myös historiallisesti merkittävät öljyn- ja kaasuntuotantoalueet, kuten Teksas, ovat toimineet mallina muiden osavaltioiden lainsäädännölle. (*DOE, 2014*) Valtiotasolla EPA on Yhdysvaltojen tärkein tuotannon ympäristövaikutusten lainsäätelyelin. Liuskekaasutuotantoa se säätelee *Clean air actin* ja *Drinking water actin* kautta, jotka asettavat minimivaatimukset tuotannolle. EPA on luomassa yhteisiä standardeja vesisärötysprosessin optimaalisesta toteutuksesta. Tiukemman tason vaatimukset, ja niiden saavuttamisen valvonta, on jätetty osavaltioille. (*DOE, 2014*) Yleinen ilmapiiri on, etteivät osavaltiot halua liittovaltiotason hallinnointia. (*NREL, 2014*) Huolestuttavana pidetään, ettei Yhdysvaltojen tärkein ympäristövaikutusten säätelyelin EPA, pysty suoranaisesti rajoittamaan itse vesisärötysprosessia. (*Susan Sakman, 2014*) Kaikis-

sa osavaltioissa ei ole ymmärretty tuotannon potentiaalisia ympäristö- ja terveysvaikutuksia, tai nähty niitä tarpeeksi merkittävänä, mistä johtuen niitä koskeva lainsäädäntö on löyhä. (NREL, 2014) Monella osavalttiolla ei ole historiaa öljyn- ja kaasuntuotannossa, jolloin niitä ohjaileva lainsäädäntökin on ollut vajavainen tai puuttunut kokonaan liuskekaasutuotannon alkaessa. Lainsäädäntö on kehittynyt ongelmien tullessa esille. Esimerkiksi monet osavaltiot vaativat nykyään yrityksiltä tiedon vesisärötyksessä käyttämistään kemikaaleista ja useimmat osavaltiot ovat tiukentaneet kaivon koteloinnin lujuusvaatimuksia. Koko Yhdysvaltojen liuskekaasulainsäädännön kehitys on ollut oppimiskäyrä. (Susan Sakman, 2014)

Tuotannon toimijat näkevät hallituksen suurimpana pullonkaulana. Muuttuvat menettelytavat ja lainsäädännöt ovat rasitteena toimijoille, sillä ne vaikuttavat suuresti tuotannon kannattavuuteen. Osavaltiotasolla haasteena on puolestaan hallintoelimissä toimivien rajallinen ymmärrys energiamarkkinoista. Kaasunhinnan ajoittaisista muutoksista johtuen, saatetaan tehdä muutoksia hyödyntämissuunnitelmiin ja infrastruktuureihin liittyviin säädöksiin, mikä tekee toimintaympäristöstä epävakaa. (ANGA, 2014)

5.3 Yksityisten maanomistajien kaivannaisoikeus

Yhdysvaltojen uniikki yksityisen maanomistajan kaivannaislainsäädäntö on yksi merkittävä syy liuskekaasutuotannon laajaan leviämiseen. Pohjois-Amerikassa yksityisellä maanomistajalla on kaivosoikeus omaan maahansa, mikä oikeuttaa maanomistajan myymään kaivannaistuotteitaan tai vuokraamaan maansa kolmannelle osapuolelle, kuten pohjatutkimus- tai porausyritykselle. (IEN, 2008)

Kaivosoikeus tuo liuskekaasuesiintymän alueella olevalle yksityiselle maanomistajalle kuukausittaisen tulolähteen pitkäksi ajaksi. Yhdysvalloissa maanomistaja saa kuukausittaisen palkkashekin vuokraamastaan maasta, välittämättä siitä onko tuotanto käynnissä. Lisäksi maanomistaja saa rojalteja maallaan tapahtuneesta kaasuntuotannosta. Maanvuokraussummat vaihtelevat tuotantopotentiaalista riippuen, alkaen \$50:sta ja nousten useampiin tuhansiin dollareihin eekkeriä kohden (0,405 ha). Rojalit ovat tyypillisesti 15-25 % tuotannosta, mikä on suurin yksittäinen kannustin maan vuokraamiseen tuotantoalueeksi. (IEN, 2008) Vuonna 2011 tuotannon rojalit Marcellus-esiintymän alueella Pennsylvaniassa, liikkuivat välillä \$8 000-\$35 000 kuukaudessa. Maanvuokraajien elintaso on noussut merkittävästi, mikä on mahdollistanut esimerkiksi heidän lasten koulutuksen mak-

samisen. Alueittain tämä on johtanut ”shale boomtowneihin”, kasvaviin pienkaupunkeihin joissa asuu paljon liuskekaasulla äkkirikastuneita ihmisiä. Ilmiötä on verrattu Yhdysvaltojen 1800-luvun kultakuumeeseen. (Smith, 2011) Myös valtio suorittaa omistamallaan mailla liuskekaasutuotantoa, perustuen samaan oikeuteen. Kaivosoikeus ei kuitenkaan koske kansallispuistoja tai muita suojelualueita.

Yksityishenkilön tuotannosta saamat tulot ovat mahdollistaneet liuskekaasutuotannon leviämisen laajalle, siitäkin huolimatta, että kyse on raskaasta teollisesta tuotannosta, jonka osa riskeistä on vielä tunnistamatta. Johtuen yksityishenkilöiden tuotannosta saamasta kuukausittaisesta tulosta, he herkemmin hyväksyvät tai sietävät sen ympäristövaikutukset maillaan, joskus välittämättä niiden suuruudesta tai koska eivät sillä hetkellä näe vaikutuksia. (Susan Sakman, 2014) Muualla maailmassa pääosin hallitus omistaa kaivosoikeuden maahan, välittämättä siitä kuka sen omistaa ja maanomistajalla on oikeus pelkästään tontin pintamaahan. Esimerkiksi Euroopassa yksityinen omistaja kärsii alueellaan tapahtuvasta tuotannosta, ilman että saa siitä tuloja. Yhdysvalloissa tuotannosta kärsivä pystyy itse päättämään taloudellisen tarpeensa perusteella haluaako tuotantoa maalleen. (IEN, 2008)

5.4 Sosiaalisia vaikutuksia

Kasvaneesta teollisesta toiminnasta johtuen liuskekaasuesiintymien yhteyteen on muodostunut kappaleessa 5.3 mainittuja ”shale boomtowneja”. Tuotanto kasvattaa kaupunkien asukaslukua ja työntekijöiden palkat ovat korkeita, mitkä lisäävät alueella tapahtuvaa liiketoimintaa. Yksityishenkilöiden kaivosoikeuksista saamat tulot ovat lisänneet yksityishenkilöiden varallisuutta merkittävästi. Valtaosa tuotannosta tapahtuu kaupunkeja köyhemmällä maaseudulla ja haja-asutusalueilla, missä tuotannon alkaminen on tarjonnut mahdollisuuden suurelle talouskasvulle, joka olisi muuten ollut käytännössä mahdotonta. (Brookings, 2014)

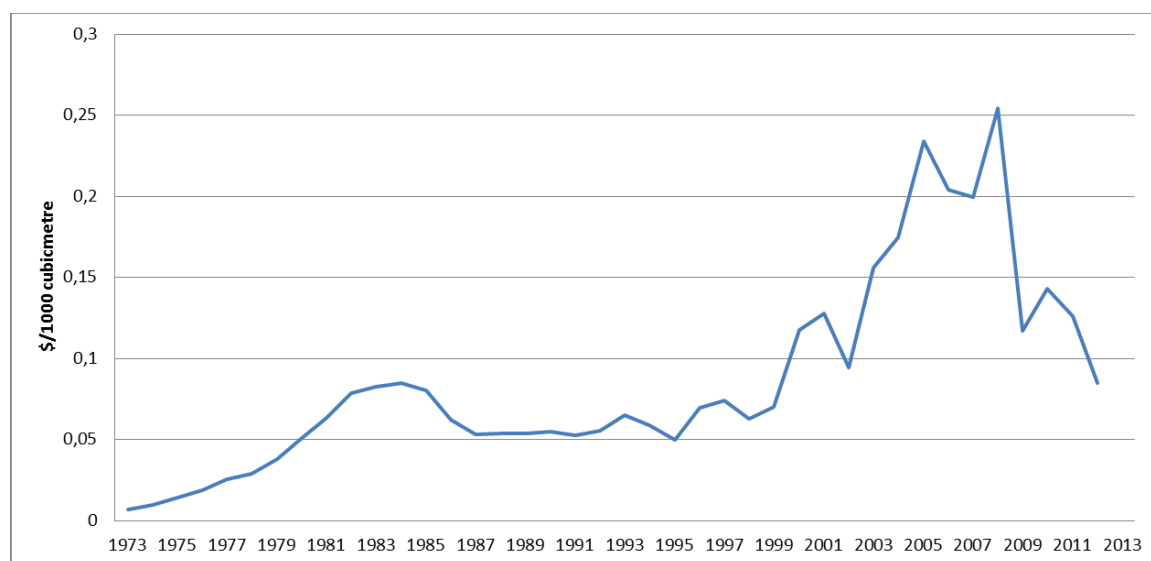
Liuskekaasutuotannon alkamisen myötä nopeasti muuttunut tilanne on tuonut mukanaan myös sosiaalisia haasteita yhteisöille. Bakkenin esiintymän alueella palkat nousivat nopeasti niin korkeiksi, että lapset jättivät koulun kesken mennäkseen töihin. Nopeasti kasvaneilla alueilla on suuri tarve koulu- ja terveydenhuoltopaikoista. Lisäksi haasteita on esiintynyt liittyen liusketyöläisiin, jotka ovat muuttaneet alueelle ilman perheitään. Mediassa puhutaan paljon heidän mukaan tuomista ongelmista alkoholin ja prostituution kanssa.

(DOE, 2014) Lisäksi yleisesti elämiskustannukset ovat nousseet, mikä on rasite asukkaille, joiden mailla ei ole esiintymiä. (Brookings, 2014) Tuotannon suuresta vedentarpeesta johtuen, kaupunkeihin ajaa jatkuva virta vesi- ja kemikaalirekkoja. Liikenteen määrällä on ollut merkittävä vaikutus teiden laatuun ja turvallisuuteen. (DOE, 2014)

5.5 Vaikutukset talouteen

Liuskekaasutuotannon alkaminen Yhdysvalloissa antoi myös uskoa talouskasvuun. Kotimaisen energian hinnan lasku on kasvattanut teollisuuden investointeja ja aikaansaanut kotitalouksille säästöjä. Yhdysvaltojen uniikki maanomistajan kaivannaislainsäädäntö on rikastuttanut liuskekaasuesiintymien alueilla asuvia yksityishenkilöitä, mikä on tarkemmin esitelty kappaleessa 5.3. Liuskekaasun tuomaan kasvuun uskotaan voimakkaasti, mikä näkyy myös Yhdysvaltojen katukuvassa. Käynnissä ovat suuret markkinointitempaukset vakuuttamaan kansalaisia kaasun merkityksestä ja tuomista työpaikoista sekä sen mahdollistamasta talouskasvusta. (Kinnaman, 2011)

Kuvasta 15 nähdään liuskekaasun vaikutus Yhdysvaltojen kaasunhintoihin. Vuodesta 2008 vuoteen 2013 hinta on laskenut lähes 70 %. Liuskekaasu onkin ensimmäisenä laskenut energiakustannuksia, mikä alentaa niin kotitalouksien kuin tuotannon kustannuksia. (EIA, 2014a) Yhdysvalloissa puhutaan ”teollisuuden renessanssista”, johtuen liuskekaasun antamasta piristysruiskeesta talouslaman jälkeiselle tuotannolle. (DOE, 2014)



Kuva 15. Yhdysvaltojen maakaasun hinnat (wellhead) 1973–2012 (EIA, 2014a)

Edullinen maakaasu on kasvattanut teollisuuden kilpailukykyä ja lisännyt teollisuuden investointeja. Esimerkiksi kemianteollisuuden puolella Yhdysvaltojen merkittävä kilpailuetu on tullut liuskekaasutuotannosta saatavien NGL:n hyödyntämisestä. Tästä esimerkkinä etyleenin tuotanto, jota voidaan hyödyntää laajasti eri kemianteollisuuden alueilla. Ulkomaalaiset yritykset ovat riippuvaisia kalliimmasta öljypohjaisesta raaka-aineesta, jolloin vuoden 2012 hintatasolla saatiin raaka-ainekustannuksissa noin 85 % säästöt ja siten merkittävä globaali kilpailuetu. Yhdysvaltalaiset kemianteollisuuden yritykset ovat investoineet edullisen raaka-aineen innoittamana uusiin tuotantolaitoksiin sekä olemassa olevien laitosten laajennuksiin. (Wang, Q. et al. 2014) Yhdysvaltojen kilpailukyky tulee parantamaan myös lähivuosina voimaan tulevat teollisuuden energiatehokkuusstandardit, jotka ovat osoittaneet lupaavia tuloksia vähentää tuotanto- ja voimalaitosten energiankulutusta. (ANGA, 2014)

Liuskekaasutuotannon alkamisen myötä, Yhdysvaltoihin on tullut yli 600 000 työpaikkaa jo vuoteen 2010 mennessä. Vuonna 2015 työpaikkoja ennustetaan olevan jo 870 000 ja 2035 peräti 1,6 miljoonaa. Liuskekaasuteollisuus tuottaa, jokaista suoraan teollisuuden alalla toimivaa työpaikkaa kohden, vähintään kolme alaa tukevaa työpaikkaa. (IHS, 2011) Lisäksi tuotannon palkat ovat korkeita, liikkuen välillä \$300-\$2 000 päivässä. (Brookings, 2014) Liuskekaasun vaikutus Yhdysvaltojen bruttokansantuotteeseen oli vuonna 2010 jo yli \$76,9 miljardia. Ennusteet vuodelle 2015 ovat \$118 miljardia ja vuodelle 2035 kolminkertaistuminen \$231 miljardiin. Tulevan 25 vuoden aikana liuskekaasuteollisuudella on potentiaalia tuoda yli \$933 miljardia verotuloa. Kotitalouksillekin aiheutuu säästöjä laskevista kaasun hinnasta ja muista kulutustuotteista, joiden hintaa se on laskenut. Vuosittaisten säästöjen on laskettu olevan keskimäärin kotitalouskohtaisesti \$930 aikavälillä 2012-2015 ja ylittävän \$2 000 vuoteen 2035 mennessä. (IHS, 2011) Tehtyjä taloustutkimuksia kohtaan on kuitenkin osoitettu kritiikkiä, sillä useat niistä ovat kaasu- ja öljy-yhtiöiden rahoittamia, jolloin on herännyt kysymyksiä niiden puolueettomuudesta. (Kinman, 2011)

Yhdysvalloille kaasunviennin aloitus on houkutteleva mahdollisuus pienentää valtionvelkaa. (Brookings, 2014) DOE on valtuutettu tutkimaan kaasun ulkomaanmyynnin vaikutuksia kotimaisiin kaasumarkkinoihin ja -tuotantoon ennen useampien vientilupien myöntämistä. Viennin kasvu tulee todennäköisesti nostamaan Yhdysvaltojen kaasun hintoja ja siten laskemaan kasvanutta teollisuuden kilpailukykyä.

5.6 LNG-vienti ja Yhdysvallat

Maakaasun selvästi korkeampi markkinahinta Aasiassa ja Euroopassa on motivoinut Yhdysvaltoja LNG-vientiin ja yksi kiinnostavimmista tekijöistä liuskekaasuvallankumouksessa on, miten suurella määrällä Yhdysvallat käynnistävät LNG:n vientikaupan. Vuoden 2012 alussa maakaasunhinta Yhdysvalloissa oli vain 60 % Länsi-Euroopan ja 20 % Aasian hinnoista. (World Bank, 2014) Kilpailukykyinen kaasunhinta on houkuttellut yhdysvaltalaisia energiayrityksiä aloittamaan LNG-vientiä. LNG-vientilupia on myönnetty 4 kappaletta vuoden 2013 loppuun mennessä ja asiakkaita on jo ilmoittautunut yrityksiä Iso-Britanniasta, Espanjasta, Koreasta ja Intiasta. (Wang, Q. et al. 2014) Kuitenkin LNG-vientilaitosten rakentamisinvestoinnit ovat suuria ja epävarmuutta aiheuttaa kannattavuus johtuen muuttuvista kaasunhinnoista ja kaasunsaatavuuden tulevaisuuden näkymistä. (*Embassy of Norway, 2014*) Yhdysvaltojen LNG-viennin oletetaan suuntautuvan hintaohjautuvasti pääosin Aasian markkinoille, mutta osan voidaan olettaa saapuvan myös Euroopan markkinoille. (*Brookings 2014, Susan Sakman 2014*)

Yhdysvallat olivat suunnitelleet LNG-tuonin voimakasta lisäystä, minkä takia käynnistettiin useita LNG-tuontiterminaaliprojekteja. Voimakkaasti kasvaneesta liuskekaasutuotannosta johtuen, vuonna 2012 alettiin suunnitella terminaalien muuttamista vientiterminaaliksi. Yhdysvaltojen tarvitsee vähenevissä määrin tuoda maakaasua LNG:nä, mikä on tähän asti ollut peräisin Trinidad & Tobagosta ja Qatarista sekä pieniä määriä Egyptistä, Norjasta ja Yemenistä. (BP, 2013a) Vuonna 2013 merkittävä osa Yhdysvaltojen tuonti- maakaasusta myytiin suoraan satamasta eteenpäin. Toisin sanoen liuskekaasu vapautti välittömästi enemmän LNG:tä muille markkinoille. (*Susan Sakman, 2014*)

Maakaasun tuonti ja vienti vapaakauppasopimuksen ulkopuolisiin maihin on ollut Yhdysvalloissa DOE:n vuoden 1938 *Natural Gas Act*in perustuen luvanvaraista öljykriisistä lähtien. Vientilupahakemuksia on tällä hetkellä käsittelyssä 32 kappaletta, joista 25 on vapaakauppasopimuksen ulkopuolisiin maihin. DOE:n lupakäsittelyn jälkeen täytyy terminaalien rakentamisluvan saamista varten läpikäydä lupakäsittely Federal Energy Regulatory Commissionin (FERC) kanssa, mikä kestää useita vuosia. Vuoden 2013 loppuun mennessä vientilupia vapaakauppasopimuksen ulkopuolisiin maihin oli myönnetty 4 kappaletta. (*DOE, 2014*) Vuonna 2014 Itärannikolle Louisianan Sabine Passiin on rakenteilla Yhdysvaltojen ensimmäinen LNG-vientiterminaaliksi, kaasuyhtiö Chenieren toimesta. Terminaalien on tarkoitus aloittaa kaasunvienti vuonna 2015. (FERC, 2014) LNG-laitosten rahoituksen kerääminen on haastavaa ja rakennuskustannukset mittavia. Yhden laitoksen rakentaminen maksaa noin \$10 miljardia, mikä kasvattaa kaasun yksikköhintaa merkittävä-

ti. (ANGA, 2014) Investoivan yrityksen tulee olla vakuuttunut kaasuntuotannon jatkumisesta tarpeeksi kannattavana vientiä varten. Eli yhtäläillä kuin vientilupien saaminen vaikuttaa lopulliseen viennin määrään, vaikuttavat siihen myös korkeat LNG-kustannukset. Tästä johtuen viennin epäillään olevan tulevaisuudessa huomattavaa, mutta ei valtavaa. (Brookings, 2014) ANGA ei näistä syistä johtuen näe viennin kasvavan suureksi niin nopeasti, että sillä olisi merkittävää vaikutusta kotimaisen kaasun hintaan. (ANGA, 2014)

LNG-viennin vaikutukset kotimaisen maakaasun hintaan ovat herättäneet keskustelua. Yleinen konsensus on, että kasvava kaasuvienti johtaa korkeampiin kotimarkkinoiden kaasunhintoihin. Tämä puolestaan tulee Congressional Research Servicen (CRS) tutkimuksen perusteella vaikuttamaan negatiivisesti energiantensiivisten sektorien toimintaan. Kysymys kuuluukin, tulevatko viennin hyödyt kuten kasvanut työllisyys ja uudet sijoitukset liuskekaasutoimintoihin olemaan suurempia, kuin nousseista kaasunhinnoista aiheutuneet rahalliset menetykset. (Arora, 2014, DOE 2014) Teollisuus menettää saamaansa kilpailukykyä kaasunhintojen noustessa. Ilman tuotannon kasvattamista ja kysynnän pysyessä ennallaan tai noustessa, kaasun hinta nousee viennin kasvaessa. (NREL, 2014) Miten paljon liuskekaasutuotantoa saadaan kasvatettua vastaamaan nykyistä kaasun kulutusta, sen kasvupotentiaalia ja LNG-viennin alkamista, määrittää kaasunhinnan lopullisen tason. Liuskekaasutuotannon kasvatus puolestaan riippuu yksittäisten asuinyhteisöjen päätöksistä hyödyntää kaasuvarantojaan. Oletettavasti tuotannon kasvu pystyy vastaamaan alkavaa vientiä jonkin aikaa ennen kotimaisten kaasunhintojen nousua. LNG-viennin alkaessa kasvaa liian suureksi oletetaan teollisuuden lisäksi myös ympäristöjärjestöjen tekevän vientiä vastustavia kannanottoja. Viennin kasvaessa liian suureksi, heidän näkökulmastaan tuotannosta aiheutuu ympäristön pilaantumista, ilman omaan käyttöön saatavaa puhdasta energialähdettä. Teoreettisesti kaasuvienti voitaisiin lopettaa presidentin päätöksellä, jos hinta nousee liian korkeaksi. DOE on ilmoittanut, ettei halua säädellä energian hintoja eikä tee päätöksiä niihin perustuen. (Susan Sakman, 2014)

Sekä DOE että ANGA näkevät olennaisena käynnistää LNG-vienti mahdollisimman nopeasti ja Yhdysvaltojen pelkona on etulyöntiaseman menettäminen. Kun markkinoille saapuu muita toimijoita, tulee kilpailua LNG-tuontisopimuksista. (DOE 2014, ANGA 2014) Pohjois-Amerikassa on toistaiseksi ainoana maailmassa epäkonventionaalisten maakaasuvarojen hyödyntämiseen liittyvää osaamista. Lisäksi monelta maalta puuttuvat LNG-vientiin tarvittavat valmiudet, samalla kun perinteisten kaasuvientimaiden konventionaaliset varannot vähenevät. Yhdysvallat näkevät myös poliittisen merkityksen maailman energiansaannin takaamisessa, ja että voivat toimia merkittävänä maakaasun toimittajana muulle maailmalle. (Susan Sakman, 2014) Ukrainan ja Venäjän kriisi maaliskuussa 2014 on kasvattanut

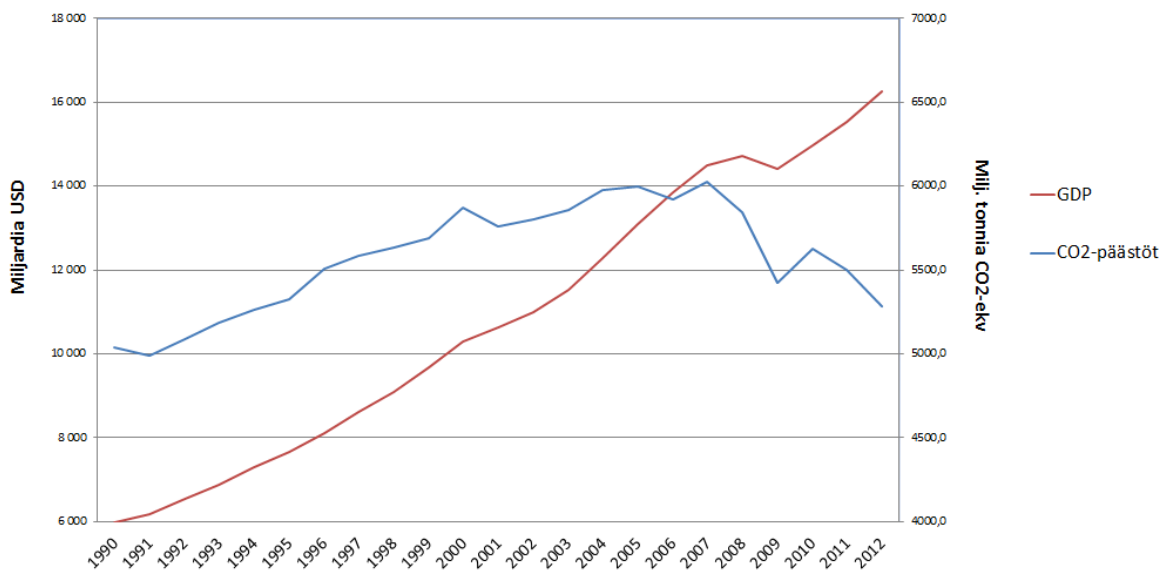
Euroopan maiden huolta Venäjä-riippuvuudesta. Puola, Tsekki, Slovakia ja Unkari lähes-tyivät Yhdysvaltojen kongressia pyynnöllä kasvattaa kaasunvientiä Eurooppaan, johtuen kasvaneesta poliittisesta epävarmuudesta. (YLE, 2014)

5.7 Toteutuneet ilmastonmuutosvaikutukset

Yhdysvallat on liuskekaasuun siirtymisellä pystynyt vähentämään kasvihuonekaasupäästöjään, sillä sen käytöllä on korvattu hiili-intensiivisempää kivihiltä. Todelliset liuskekaasun ilmastovaikutukset saadaan, kun huomioidaan kasvihuonekaasupäästöt tuotannon ajalta sekä kuljetuksista loppukulutuspaikkaan. Liuskekaasutuotannon, kaasun kuljetusten ja LNG:n metaanipäästöihin liittyvä tutkimus on toistaiseksi vajavaista ja aiheuttaa epävarmuutta laskelmiin toteutuvista kasvihuonekaasupäästöistä. Kuitenkin käsiteltäessä tuotannon päästöjä on tärkeä muistaa, että liuskekaasutuotannon päästöt ovat verrattavissa konventionaaliseen kaasun ja kivihillen tuotannonpäästöihin. (NREL, 2014)

Yhdysvaltojen fossiilisten polttoaineiden käytön hiilidioksidipäästöt laskivat vuoden 2007 huipputasosta (6 023 milj. tonnia CO₂-ekvivalenttia), vuoteen 2013 (noin 5 348 milj. tonnia CO₂-ekv.) yhteensä noin 675 miljoonaa tonnia CO₂-ekvivalenttia eli yli 11 %. (EIA, 2014b) Syynä vähennykseen on ollut erityisesti voimalaitosten polttoaineena käytetyn kivihillen korvaaminen kotimaisella maakaasulla, mikä vähentää hiilidioksidipäästöjä tuotettua kilowattituntia kohden noin puoleen. Fossiilisten polttoaineiden ajamassa Yhdysvalloissa on liuskekaasun ansiosta saavutettu lyhyessä ajanjaksossa suurempi kasvihuonekaasupäästöjen vähennys, kuin aiemmin missään muualla maailmassa. Yhdysvallat eivät ole sitoutuneet kansainväliseen hiilidioksidipäästöjen vähennyssopimukseen Kioton protokollaan. Todellinen ajava voima onkin ollut markkinaohjautuvasti edullinen kotimainen energianlähde. (Wang, Q. et al. 2014) Yksi Yhdysvaltojen hallituksen suurimpana motivoijana liuskekaasutuotannon kasvattamiseen on sen tuomat mahdollisuudet hillitä ilmastonmuutosta. (DOE, 2014)

Kuvassa 16 on esitetty Yhdysvaltojen bruttokansantuote (GDP) ja CO₂-päästöt vuosina 1990-2012. Kuvasta nähdään jatkuvasti kasvaneet hiilidioksidipäästöt, kunnes vuoden 2007 jälkeen ne ovat lähteneet selkeään laskuun. Yhdysvalloissa saavutettiin vuonna 2012 vuoden 1994 päästötaso ja nykytrendit osoittavat Yhdysvaltojen päästöjen olevan vähentymässä edelleen. Vuonna 2012 saavutettiin vuoden aikana myös 6,5 % kasvu bruttokansantuotteessa eli pienennystä hiili-intensiivisyydessä. (EIA, 2012, BEA, 2014)



Kuva 16. Yhdysvaltojen CO₂-päästöt suhteessa bruttokansantuotteeseen vuosina 1990–2012 (EIA 2012, BEA 2014)

Historiallisesti, Yhdysvaltojen talous on rakennettu fossiilisten polttoaineiden varaan. Kuten kuvasta nähdään, ovat bruttokansantuote ja hiilidioksidipäästöt kasvaneet samassa suhteessa noin vuoteen 2004 asti. Tästä johtuen saavutettu talouskasvu, yhdessä päästövähennysten kanssa on merkittävä tekijä. Vuonna 2005 alkanut hiilidioksidipäästöjen vähennys, yhdistettynä bruttokansantuotteen jatkuvaan kasvuun, on maailmalla ennenkuulumatonta. Yhdysvaltojen kasvihuonekaasupäästöjen oletetaan kuitenkin hetkellisesti nousevan vuoden 2013 tasosta, johtuen edullisen maakaasun ajamasta kasvaneesta teollisesta toiminnasta.

Kesäkuussa 2013 presidentti Obama linjasi *Presidential Memorandum*, joka asettaa standardit voimalaitosten hiilidioksidipäästöille. Tämä on osa Obaman hallituskauden ilmastomuutostavoitteita *Climate Action Plan*ia, sillä sähköntuotannosta aiheutuu lähes 40 % Yhdysvaltojen hiilidioksidipäästöistä. Standardit koskevat vuoden 2013 jälkeen valmistuvia uusia voimalaitoksia ja vuoteen 2016 mennessä vanhoja voimalaitoksia. Käytännössä päästörajoitukset vaativat hiilivoimalaitoksilta investointeja CCS-teknologiaan tai siirtymisen käyttämään maakaasua polttoaineena. (Obama, 2013) Jo ennen standardeja välillä 2011-2012, kaasuvoimaloiden osuus kasvoi 5 %, vastaamaan 30 % sähköntuotannosta. Hiilellä tuotettiin vuonna 2012 vieläkin 37 % sähköstä, mikä vastaa jo 1970-luvun tasoa, mutta vähennyspotentiaalia on vielä paljon. (EIA, 2014c) Obaman hallinto joutui tekemään linjaamiensa voimalaitosten rajoitettujen hiilidioksidipäästöjen rinnalle kompromissin kivihiilentuotannon jatkumisen kanssa. Kivihiilen louhinnalla on pitkä historia ja voimakas

kansantaloudellinen merkitys tietyissä osavaltioissa ja sen tuotannon jatkumisen puolesta on ollut voimakasta lobbaamista. Vaikka Yhdysvaltojen kivihiilenkulutus laski merkittävästi, on tuotantoa pidetty yllä, mikä johti kasvaneeseen edullisen kivihiilen vientiin Eurooppaan ja Aasiaan. Tällä tavoin Yhdysvalloissa päästiin osittain eroon kivihiilen käyttämisestä sähköntuotannossa, ilman sen kaivosteollisuuden heikentymistä. Euroopan lopettaessa kivihiilen ostaminen, esimerkiksi ilmastonmuutospakotteista johtuen, edullisen kivihiilen tuotanto Yhdysvalloissa ei silti vähene, vaan se todennäköisesti myydään kehittyviin Afrikan tai Etelä-Amerikan maihin, mitä pidetään ristiriitaisena. (*Brookings, 2014*) Vaikka Yhdysvalloissa on saavutettu merkittävät hiilidioksidipäästövähennykset, ei ”todellista ongelmaa” eli kivihiilen tuotantoa ole vähennetty, joten todellisuudessa päästöt ovat toistaiseksi siirtyneet muihin maihin.

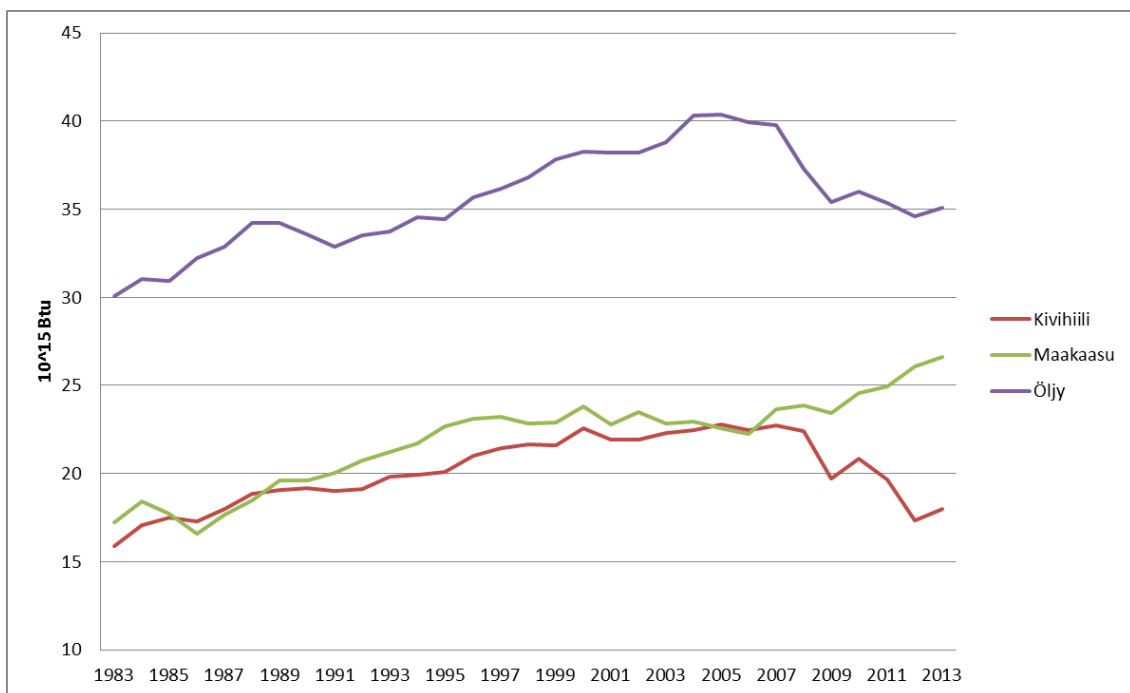
EPA on ollut rakentamassa ja edistämässä Yhdysvaltojen omaa päästökauppajärjestelmää, jossa on asetettu osavaltiokohtaiset päästövähennystavoitteet. Lakiluonnoksen on tarkoitus valmistua kesäkuussa 2014 ja valmiin version kesäkuussa 2015. Tämän jälkeen osavaltioilla on vuosi aikaa esitellä, mitkä ovat ne toimenpiteet, joilla he pystyvät saavuttamaan päästövähennystavoitteet. (*NREL, 2014*) Vaikka maakaasun käyttäminen on ilmastonmuutoksen hillitsemisessä kivihiiltä edullisempaa, pidetään tulevia ilmastonmuutosta koskevia politiikoita potentiaalisena pullonkaulana myös maakaasun käytölle. Tämä johtuu siitä, että maakaasukin on fossiilinen polttoaine, jonka käytöstä aiheutuu CO₂-päästöjä, jolloin esimerkiksi hiiliveron tullessa tämän vaikutus tulee laskea lopulliseen hintaan. (*ANGA, 2014*)

5.8 Vaikutus muihin energialähteisiin

5.8.1 Vaikutus kivihiileen ja öljyyn

Liuskekaasutuotannosta johtuen Yhdysvalloissa on pystytty maakaasulla syrjäyttämään hiiltä primäärienergian lähteenä. Öljyn käyttöön liuskekaasun vaikutukset eivät ole olleet yhtä suuria, vaan käyttö on vähentynyt johtuen niin talouden tilasta, kuin muutoksista liikenteessä kuten uusista liikennepolttoaineiden energiatehokkuusstandardeista. (*DOE, 2014*) Liuskeöljyn ansiosta Yhdysvalloissa on pystytty elvyttämään petrokemianteollisuutta ja öljyn kulutus vaikuttaa olevan jälleen kasvussa. Kivihiili on historiallisesti merkittävä ja sillä on suuri kansantaloudellinen merkitys tietyissä osavaltioissa. Vaikka kivihiilen käyttö Yhdysvalloissa on vähentynyt merkittävästi, ei sen tuotanto ole vähentynyt ja maa on

siirtynyt kivihiilen laajamittaiseen vientiin Eurooppaan ja Aasiaan. (Brookings, 2014) Kuitenkin hiili tulee tulevaisuudessakin pysymään osana Yhdysvaltojen sähköntuotantoa, mikä puolestaan edellyttää Obaman hallinnon nykysäädöksillä CCS-tekniologioiden kehittymistä ja käyttöönottoa. (EIA, 2014c) Kuvassa 17 on esitetty Yhdysvaltojen fossiilisten polttoaineiden kokonaiskulutus aikavälillä 1983-2013. Kivihiilen osuus on ollut jatkuvassa kasvussa noin vuoteen 2006 asti, minkä jälkeen määrä on vähentynyt merkittävästi. Öljyn merkitys Yhdysvalloille on suuri, mutta sen kulutus on vähentynyt vuodesta 2004. Maakaasun käytössä on ollut jatkuvaa kasvua.



Kuva 17. Yhdysvaltojen fossiilisten polttoaineiden kulutus 1983–2013 (EIA, 2014)

5.8.2 Vaikutus uusiutuviin energiamuotoihin

Yhdysvaltojen National Renewable Energy Laboratory (NREL) oli aluksi huolissaan, miten matala kaashinta vaikuttaisi uusiutuvien energialähteiden kannattavuuteen ja pysähtyisivätkö niiden kehittämisprojektit hetkellisesti. Kuitenkin huomattiin päävaikutuksen olevan kivihiilen käytön väheneminen. NREL on halunnut lähestyä asiaa siten, että maakaasu ja uusiutuvat energiamuodot toimivat toisiaan tukien. NREL on siirtynyt tarkastelemaan kaupallisia malleja, jotka edistäisivät uusiutuvien energiamuotojen rinnakkaiseloä kaashin kanssa. Nähdään, ettei tämä tapahdu automaattisesti, vaan tarvitaan sijoituksia täysin uusiin energiamalleihin. NREL:n mukaan uusiutuvat ja maakaasu voidaan yhdistää muutamalla eri tavalla. Esimerkiksi hybridivoimalaitos voisi toimia pääosin aurinkoenergialla, mutta energiansaannin rajoituksissa, käynnistyisivät maakaasugeneraattorit, jolloin saadaan tasainen sähköntuotanto. (NREL, 2014) Uusiutuvat eivät toimi itsellään, vaan ne

tarvitsevat rinnalleen peruskuormaa tuottavan polttoaineen, mihin kaasu soveltuu hyvin. Kaasu palaa puhtaasti hyvällä hyötysuhteella, ja kaasulla toimivat polttomoottorit pystytään ajamaan ylös nopeasti. (ANGA, 2014)

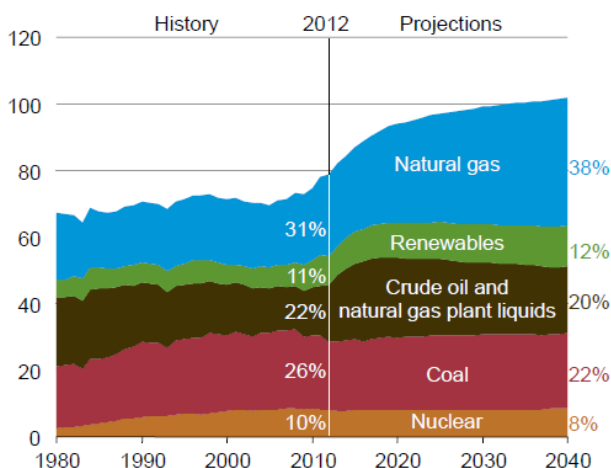
DOE näkee uusiutuvien prosenttiosuuden edelleen pieneksi ja siten niiden vaikutusmahdollisuudet päästöjen vähentämiseksi vähäiseksi. Maakaasutuotanto ja hyödyntäminen nähdään realistisempänä ja kustannustehokkaampana suuntana ilmastonmuutoksen hidastamiseksi (DOE, 2014) Cleantech-alan sijoittaja näkee liuskekaasun vähentäneen puhtaiden teknologioiden investointeja. Sijoittajat, jotka olisivat voineet investoida esimerkiksi aurinkoenergiasektoriin, ovat vuonna 2013 siirtyneet suurissa määrin liuskekaasuun liittyviin innovaatioihin. Sijoittavat näkevät liuskekaasussa potentiaalisemman lyhyen aikavälin sijoituskohteen. Toisin sanoen sen tämän hetken tuottomahdollisuudet ovat uusiutuvia suuremmat. (Cleantech company, 2014) Brookingsin mukaan uusiutuvien energiamuotojen tulevaisuuden näkymät Yhdysvalloissa ovat heikentyneet liuskekaasutuotannon alkamisen jälkeen. Paljon investointeja tehdään maakaasuinfrastruktuuriin ja kivihiilen louhintaan, sillä tuotantoa ei ole vähennetty vaikka kulutus pieneni. Voidaan ajatella, että kaikki investoinnit fossiilisiin polttoaineisiin ovat pois uusiutuvilta energialähteiltä. Vaikka viimeaikaisilla menestyksillä energiatehokkuusprojekteissa on positiivinen vaikutus, vaikuttaa Brookingsin mukaan siltä, että markkinat palaavat takaisin fossiilisten polttoaineiden käyttöön. (Brookings, 2014)

Kaliforniassa jatketaan uusiutuvien energiamuotojen aktiivista kehitystyötä. Osavaltiossa pidetään tärkeänä olla edelläkävijä uusiutuvien energiamuotojen kehityksessä, kuten muissakin teknologioissa. Liuskekaasutuotannon kasvu ei ole siellä näkynyt uusiutuvien kehitykseen tehdyissä sijoituksissa. Kehitystä tehdään edelleen, jotta uusiutuvien energiamuotojen lyödessä läpi on osavaltion osaaminen maailmalla edelläkävijöiden tasolla. (EBI, 2014) Maakaasun yleistyessä energianlähteenä, voidaan ajatella sen edistävän myös muita kaasumaisia energianlähteitä. NREL näkee vedyn lupaavaksi tulevaisuuden energianlähteeksi, mitä kohti on katsottu jo pidemmän aikaa. Vetytalous ei kuitenkaan ole vielä toteuttamiskelpoinen ja toistaiseksi yksi ongelmista on teknologian korkea hinta. Siirryttäessä kohti vetytaloutta, NREL näkee metaanin voivan toimia siihen johtavana keskipitkän aikavälin ratkaisuna. Lisääntyneellä kaasunkulutuksella voidaan ajatella olevan positiivisia vaikutuksia myös biokaasun menestykseen, sillä yksi puuttuva tekijä tällä hetkellä on rajallinen kaasun käyttöinfrastruktuuri. (NREL, 2014)

5.9 Yhdysvaltojen kaasutrendejä

EIA:n Annual Energy Outlook 2012 ennustaa liuskekaasun tuotannon kasvavan tasoon 385 bcm vuodessa, vuoteen 2035 mennessä, jolloin se kattaa 50 % Yhdysvaltojen kaasuntuotannosta. Maakaasun kulutuksen on ennustettu kasvavan, mutta tuotannon oletetaan ylittävän kulutus. Muodostuvasta ylituotannosta ja valmistuvasta LNG-vientiterminaalista johtuen, Yhdysvaltojen on ennustettu aloittavan kaasunviennin jo vuonna 2016. EIA on ennakoivut Yhdysvaltojen kaasun hintojen pysyvän matalana aina vuoteen 2023 asti, sillä oletuksella, että liuskekaasuteollisuus pystyy jatkuvasti menestyksellä hyödyntämään esiintymiä. Vuoden 2023 jälkeen kaasunhinnan voidaan olettaa nousevan, sillä silloin kotimainen kasvava kysyntä kohtaisi kasvaneen kaasuntuotannon. Jotta tarjonta saadaan vastaamaan kasvanutta kysyntää, tulee tuotanto siirtymään köyhempiin ja kompleksisempiin esiintymiin, jolloin tuotantokustannukset nousevat. (EIA, 2014c) Taloudelliset tekijät ovat merkittävin edistäjä yksittäisen energialähteen käytölle, joten jos tulevaisuudessakin on saatavilla edullista kaasua, tulee sen käyttö lisääntymään. (ANGA, 2014)

Kuvassa 18 on esitetty Yhdysvaltojen toteutunut sähköntuotanto vuodesta 1990 ja ennusteita vuoteen 2040. Kaasun tuotantomäärien uskotaan kasvavan ja kaasun saavuttavan 35 % osuuden, kun se vuonna 2000 oli vain 16 % ja 2012 30 % sähköntuotannosta. Hiilellä tuotetun sähkön määrän osuus on laskenut jo 15 % 2000-luvun alusta. (EIA, 2014c)



Kuva 18. Yhdysvaltojen toteutunut sähköntuotanto ja ennusteet 1990–2040 (EIA, 2014c)

Valtiotason motivaationa siirtyä käyttämään kaasua kivihiilen sijaan on, kustannustehokas menetelmä saavuttaa Obaman asettamat rajoitukset voimalaitosten päästöille. (ANGA, 2014) Myös hiili tulee pysymään osana Yhdysvaltojen sähköntuotantoa, mikä puolestaan edellyttää Obaman hallinnon nykysäädöksillä CCS-teknologioiden kehittymistä. Yhtenä

trendinä tulevaisuuden kaasuntuotantoon liittyen on kasvava tuotannon ja voimalaitosten energiatehokkuus. Kokeiluissa energiatehokkuusstandardit ovat olleet niin menestyksellisiä, että ne tulevat vähentämään energiankulutusta. (ANGA, 2014)

Yhdysvaltojen energiaa käyttävien sektoreiden yhteenlaskettu kaasunkäyttöpotentiaali on noin +25 % nykyisestä. Teollisuuden ja voimalaitosten siirtyminen lisääntyvissä määrin kaasunkäyttöön on mahdollista jo tänä päivänä. Liikenteen kaasunkäyttöpotentiaaliksi nähdään +1 %. Tämän saavuttamisessa kestää vuosikymmenen ajan, johtuen esimerkiksi tarvittavasta polttoaineinfrastruktuurista. (ANGA, 2014) Autoteollisuudessa käydään keskusteluja investoinneista maakaasuautoihin. Tämän kaltaiset päätökset halutaan tehdä pitkälle aikavälille soveltuviksi, jotta polttoainetta on tulevaisuudessakin saatavilla kuluttajalle. (Brookings, 2014)

DOE näkee kaasun markkinahinnan merkittävimmäksi pullonkaulaksi liuskekaasutuotannon jatkumiselle ja kasvamiselle. Hinnan ollessa liian matala, ei esiintymiä kannata porata eikä rakentaa uusia putkistoja. Toisena merkittävänä pullonkaulana nähdään tuotannon resurssit. Liuskekaasuntuotanto tarvitsee kasvaakseen lisää asiantuntevaa ja ammattitaitoista työvoimaa, sekä tarpeeksi työkalustoa tuotantoon. (DOE, 2014) Alueelliset liuskekaasutoimintojen kiellot yhteisöjen toimesta nähdään potentiaalisena rajoitteena tuotannon kasvulle. Teollisuuden helposti lähestyttävillä alueilla on jo tuotantoa, joten kasvun takaamiseksi, on seuraavaksi vuorossa siirtyminen vaikeammin vakuutettaviin yhteisöihin kuten Kaliforniaan. (Susan Sakman, 2014) Kielteiseen suhtautumiseen on vaikuttanut vajavainen lainsäädäntö, minkä DOE näkee kehittyvän tuotannon kypsyessä. (DOE, 2014)

ANGA:n näkökulmasta liuskekaasuntuotannon jatkumisessa kyse on varantoihin luottamisesta ja ajoituksesta. Varannot ovat olemassa ja hyödyntämisteknologiat osataan ja ne kehittyvät jatkuvasti. Kyse on uuden infrastruktuurin jatkuvasta rakentamisesta, jotta varannot saadaan tuotantopaikalta hyödynnettäväksi. Vaikka liuskekaasuvallankumous ja ennusteet varannoista ovat olleet lupaavia, on olennaista saada kaasua ostavat asiakkaat vakuuttuneiksi yrityksiä tuotannon jatkumisesta tulevaisuudessakin. Putkistot, siirtyminen kaasunkäyttöön polttoaineena ja LNG-laitokset ovat pitkän aikavälin investointeja, joten yritysten täytyy luottaa päätöksiä tehdessään, että kohtuuhintaista kaasua on saatavilla vuosikymmenten ajan. (ANGA, 2014)

5.10 Ympäristövaikutuksista keskusteluissa

Ympäristöjärjestöjen nähdään ehtineen teollisuuden edelle potentiaalisista negatiivisista ympäristövaikutuksista tiedottamisessa suurelle yleisölle. Tämän jälkeen teollisuuden on ollut vaikeampaa vakuuttaa ihmisiä toimintansa hyväksyttävyydestä. (*Susan Sakman, 2014*) DOE näkee yhdeksi tuotannon suurimmista pullonkaloista sen, että yksityishenkilöt ovat nähneet poliittisesti latautuneen GasLand-dokumentin, perehtymättä aihepiiriin enempää. Dokumentti on saanut aikaan paljon vastustusta liuskekaasutuotantoa kohtaan. Tärkeänä asukkaiden huolen vähentämisessä nähdään avoimuus tuotantoon liittyen, mihin pyritään esimerkiksi FracFocus-nettisivustolla. (*DOE, 2014*) Kuitenkin on paljon ihmisiä, jotka hyväksyvät liuskekaasutuotannon ja sen tuomat mahdolliset ympäristövaikutukset, johtuen siitä saadusta taloudellisesta hyödystä. (*NREL, 2014*)

Mietittäessä tuotannon todellisia vaikutuksia verrattuna niiden tiedotukseen liittyvään propagandaan, niin puolesta kuin vastaan, hyvä lähestymistapa on ajatella voidaanko joka kerta porata täydellinen kaivo. On inhimillistä tehdä virheitä kaivon pohjatyössä, esimerkiksi kaivonsuojakuoren kanssa, jonka rikkoutuessa riskit pohjaveden pilaantumisesta kasvavat. Osa poraukseen liittyvistä riskeistä puolestaan liittyy jo maaperässä olemassa oleviin epäsäännöllisyyksiin. Lisäksi riskejä liittyy tiellä ajaviin tuotannon kemikaalirekkoihin. Kaikkeen teollisuusaktiiviteettiin liittyy ympäristön pilaantumisriskiä, kuitenkin liuskekaasutuotannossa kaivoja joudutaan poraamaan paljon enemmän verrattuna konventionaaliseen kaasutuotantoon, jolloin sama riski otetaan useampia kertoja. (*Susan Sakman, 2014*) DOE työskentelee parhaillaan riskianalyysin parissa. Tavoitteena on selvittää missä riskit ovat suurimpia eli mihin tuotannon hallinnassa kannattaa keskittyä. Vastuullisuus tuotannossa on koko teollisuuden intresseissä, sillä negatiiviset ympäristövaikutukset vaikuttavat koko teollisuuden menestykseen. DOE näkee juuri kaivojen suojakuoren valamisen merkittävämmäksi yksittäiseksi tuotannon vaiheeksi, minkä kanssa tulee olla huolellinen. Toinen asia mihin kiinnitetään paljon huomiota, on vesien hallintaan liittyvät haasteet, jotka vaihtelevat tuotantoalueittain. DOE ei tunnista seismisten vaikutusten olevan suuruudeltaan huomioonotettavia. (*DOE, 2014*) World Resource Institute (WRI) puolestaan piti seismisyyttä merkittävänä vaikutuksena, joka tulee ottaa huomioon. (*WRI, 2014*) Yksityishenkilöiden huoli tuotannossa käytetyistä kemikaaleista on saanut yritykset perustamaan FracFocus-sivuston. Kuitenkin teollisuuden puolella haastavampana nähdään takaisinvirtaamavedet. Maaperästä liukenee särötysnesteeseen mineraaleja ja orgaanista ainesta, joiden koostumusta ei välttämättä etukäteen tunneta. Tästä johtuen takaisinvirtaamavesien ympäristövaikutukset voivat kasvaa merkittäviksi. (*NREL, 2014*) Liuskekaasutuotannon terveystvaikutukset ovat herättäneet jo jonkin verran keskustelua, mutta mo-

net vaikutukset tulevat esille vasta tuotannon jatkuttua pidemmän aikaa. Mahdollisten keuhkovaurioiden tai kemikaalikertymien vaikutuksien todentamisessa saattaa mennä 20 vuotta. Vasta todettujen vaikutusten jälkeen, voidaan tuotantoon vaikuttaa lainsäädännöllä, sillä vaikutuksista tarvitaan todisteita. (*Susan Sakman, 2014*)

Olennaiseksi ympäristövaikutusten minimoinnissa nähdään, että yrityskentälle tulee tarjota selkeät osavaltiokohtaiset lainsäädännöt ympäristövaatimuksista. Tällöin ympäristön kannalta vastuullisesti toimivien yritysten kilpailukyky ei kärsi, sillä ympäristövaikutusten minimointi nostaa kaasuntuotannon kustannuksia. Kaikkien yritysten toimiessa samojen vaatimusten mukaisesti, pysyvät kaikkien tuotannonkustannukset yhteneväisinä ja ympäristövaikutukset pienenevät. (*DOE, 2014*)

Tuotannon toimijat näkevät tuotannon ympäristövaikutukset huomioitavaksi haasteeksi. Juuri kaivonkuoren kanssa tunnistetaan riskit merkittäviksi, jos pohjustustyötä ei ole tehty huolellisesti. Kemikaalipitoisten tuotannonesteiden vuodot puolestaan pystytään minimoimaan nesteiden huolellisella säilytyksellä. ANGA ei pidä itse vesisärötyksen riskejä merkittävinä. Kemikaalien kulkeutumista muutaman tuotantovuoden aikana syvältä porauskaivosta lähempänä pintaa sijaitseviin pohjavesivarantoihin pidetään epätodennäköisenä. Porattujen kaivojen yhteydessä kirjattuja vuotoja on esiintynyt alle 0,05 % kaivoista. (*ANGA, 2014*) Kaasu- ja öljyteollisuuden edustajien näkökulmasta ympäristövaikutusten suuruus on ympäristöjärjestöjen liioittelua ja todelliset vaikutukset saadaan minimoitua yritysten vastuullisella toiminnalla. Teollisuuden edustajien Independent Petroleum Association of America (IPAA) mukaan yhtään liuskekaasutuotannon aiheuttamaa maaperän tai vesistön pilaantumista ei ole todistettu. IPAA tunnistaa kaasun polttamisen soihdussa, energian tuhlaamiseksi ja aihealueeksi missä tuotannossa olisi parannettavaa. Kokonaisyötysuhteen parantamiseksi ja ympäristövaikutusten minimoimiseksi, tulisi kaasu polttamisen sijaan hyödyntää esimerkiksi energiana tuotantopaikalla. (*IPAA, 2014*)

Valtaosa liuskekaasutuotannon ympärillä tapahtuvista ympäristöonnettomuuksista vaikuttaa Brookingsin mukaan tapahtuvan pienemmille toimijoille, joita yrityskentällä on paljon. Ne eivät ole yhtä varovaisia toiminnoissaan kuin suuryitykset ja toisaalta ottavat tuotantokohteiksi myös haastavampia esiintymiä, joita joutuvat käsittelemään lujaotteisemmin. Suuryityksille imagon ylläpitäminen on erittäin tärkeä tekijä, joten ne keskittyvät varovaisempiin tuotantomenetelmiin. (*Brookings, 2014*)

Tarkastellessa liuskekaasun ympäristövaikutuksia on haasteellista päättää, mihin laitetaan tuotannon vaikutusten tarkastelurajat. Koko elinkaarivaikutuksia tarkastellessa olisi olen-

naista huomioida myös vedenkuljetukseen tarvittavan rekkaliikenteen päästöjä, mitkä lisäävät tuotannon ympäristöjalanjälkeä huomattavasti. (WRI, 2014) Lisäksi tarkastelun kannalta tulisi ottaa huomioon esimerkiksi LNG:n tuotannon ja laivakuljetusten metaanipäästöt, joihin ei ole vielä kohdistettu merkittävää huomiota. (Susan Sakman, 2014) EPA:n tutkimus vesisärötyksen ympäristövaikutuksiin liittyen on keskittynyt juomavedenlaatuvaikutuksiin koko tuotantoketjun ajalta. Tutkimuksen tarve oli tullut Yhdysvaltojen hallitukselta ja kiinnostusta voisi olla keskittyä seuraavaksi tuotannon ilmanpäästöihin. EPA:n liuskekaasuhaasteiden kommentointi on rajoitteellista, ja organisaatio keskittyy esittämään valmiita tutkimustuloksia. (EPA, 2014) Monet toimijat, niin teollisuudessa kuin muissa hallintoelimissä, näkevät EPA:n hankaloittajana liuskekaasusta käydyssä keskustelussa. EPA on liittovaltiotasolla ainoa hallintoelin, joka säätelee liuskekaasuntuotantoa, vaikka sen säätelymahdollisuudet ovat rajallisia. Osavaltiotasolla ei haluta vastaanottaa yksityiskohtaista liittovaltiotason ympäristövaikutuslainsäädäntöä.

Ympäristövaikutusten merkitystä Yhdysvaltojen liuskekaasutuotannon jatkumisen kannalta pidetään kuitenkin vähäisenä. Valtavat ympäristöonnettomuudet, joilla on suoria vaikutuksia ihmisiin ja luontoon, voivat hetkellisesti hidastaa tuotantoa. Onnettomuuden ollessa todella paha, se saattaa lopettaa kyseisen alueen tuotannon väliaikaisesti, mutta ei enää kokonaan. Esimerkiksi 2010 Meksikonlahdella tapahtuneen BP:n öljynporauslautan onnettomuuden sanotaan olleen yksi historian pahimmista ympäristöonnettomuuksista, mutta se ei lopettanut kyseisen öljyesiintymän hyödyntämistä. (Brookings, 2014) Yksittäiset onnettomuudet vaikuttavat tuotannon hyväksyttävyyteen alueittain, mutta usein vastustusta vähentää yksityishenkilöiden tuotannosta saama taloudellinen hyöty. (NREL, 2014)

5.11 Eurooppa Yhdysvaltojen näkökulmasta

Euroopassa ei ole vielä täysin herätty Yhdysvalloissa tapahtuvaan liuskekaasuvallankumoukseen. Tämän kuulee niin yhdysvaltalaisilta alan toimijoilta kuin Euroopan medioissa käytävästä keskustelusta ja suomalaisilta haastateltavilta heidän näkemyksistään liuskekaasusta.

Yhdysvaltalaisten liuskekaasutoimijoiden mukaan, ympäristöjärjestöt ehtivät Eurooppaan ennen energiyhtiöitä. Tästä johtuen liuskekaasun ympärillä käytävä keskustelu liikkuu enemmän sen ympäristövaikutusten kuin esimerkiksi sen mahdollistaman energiaomavaraisuuden ja tuoman talouskasvun ympärillä. DOE näkee ympäristöjärjestöjen lobbaami-

sen merkittävimmäksi syyksi haastavalle toimintaympäristölle, jonka kaasu- ja öljy-yhtiöt saivat liuskekaasutuotannon aloittamiselle Euroopassa. Avaimeksi liuskekaasun hyödyntämisen alkamiselle, nähdään sen hyväksyttävyyden lisääminen. Tämä voidaan saavuttaa puolueettomilla tieteellisillä tutkimuksilla tuotannon vaikutuksista ja lisäämällä ihmisten tietoisuutta. Euroopassa luonnonvarat ovat hallitusten omistuksessa, minkä DOE näkee haasteena laajalle liuskekaasutuotannolle. Liuskekaasun tuoma laaja-alainen teollinen aktiviteetti ei tuo asukkaille taloudellista hyötyä, kuten Yhdysvalloissa. (DOE, 2014) Jos Euroopassa halutaan saada liuskekaasun vastustus laskemaan ja laaja-alainen tuotanto käynnistymään, tulee lainsäätäjien määrittää tarpeeksi tehokkaat kannustimet. Iso-Britanniassa keskusteltiin menetelmästä, jossa yritykset maksaisivat tuotannon vaikutuksille altistuvilla asukkailla. Kuitenkin rahalliset korvaukset jäisivät murto-osaan Yhdysvaltojen yksityisten maanomistajien saamasta hyödystä ja isobritannialaiset ovat jatkaneet liuskekaasutuotannon vastustamista. (Susan Sakman, 2014) Puolassa liuskekaasutuotantoon on suhtauduttu muita Euroopan maita positiivisimmin, johtuen pitkästä historiasta hiilivetytuotannossa ja totumisesta teollisen tuotannon läsnäoloon. (Brookings, 2014)

Yhdysvaltalaiset tuotannon edustajat näkevät Euroopassa toimivien yritysten suurimmaksi haasteeksi Euroopan Unionin ja sen Yhdysvaltoja tiukemman ympäristölainsäädännön. (ANGA, 2014) Yhdysvalloissa toiminta tapahtuu pääosin taloudellinen etu edellä ja toimintoja pystytään lainsäädännöllisin menetelmin rajoittamaan vasta, kun on havaittu niiden negatiiviset vaikutukset. Euroopassa puolestaan teollisia toimintoja pääsääntöisesti rajoitetaan, ennen kuin ne sallitaan.

DOE näkee merkittävänä motivoijana Euroopan maiden liuskekaasutuotannon aloittamiseksi epävarmuudet liittyen yhden kaasuntoimittajan eli Venäjän varassa olemiseen. (DOE, 2014) Euroopan oman tuotannon aloittamisessa nähdään kestävän vielä 10-20 vuotta, mutta Yhdysvalloissa oletusarvona on, että varantoja tullaan Euroopassakin hyödyntämään. (DOE 2014, Susan Sakman 2014) Euroopan Unionissa tullaan todennäköisesti säättämään tarkat lainsäädännöt tuotannon vaatimuksille ennen tuotannon laajamittaista aloittamista, mikä vie aikaa. (NREL, 2014) Euroopasta puuttuu liuskekaasutuotantoon tarvittavan osaamisen lisäksi tuotantolaitteistot sekä laaja-alainen infrastruktuuri. Tästä johtuen tarvitaan paljon investointeja kaasun hyödyntämisteknologiaan ennen kuin tuotannon aloittaminen on mahdollista. Tämä on ollut rajallisen lainsäädännön lisäksi Puolan tuotannon alkamisen haasteena. (DOE, 2014)

Merkittävä tekijä tuotannon aloitusajankohdalle on lisäksi kaasun markkinahinta. Esimerkiksi Yhdysvaltojen vähentyneestä tarpeesta vapautuu markkinoille tuontimaakaasua,

mistä johtuen globaalit kaasunhinnat saattavat laskea. Matala tuontikaasun hinta viivästyttää tuotannon aloittamista Euroopassa. (*Susan Sakman, 2014*)

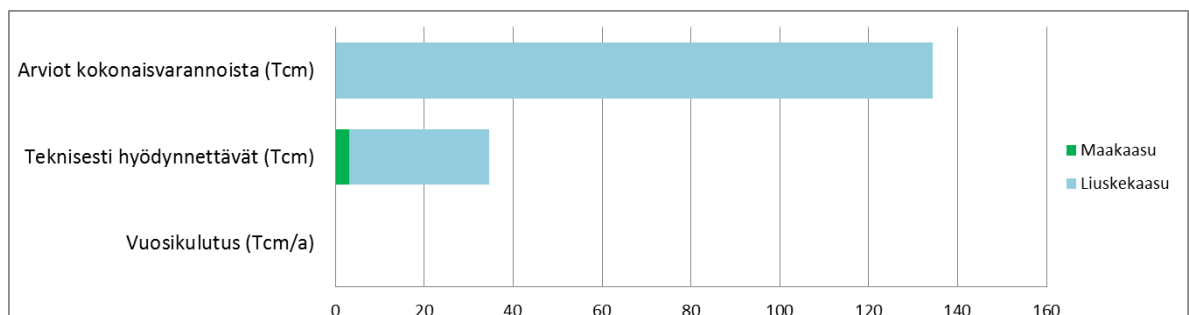
Tällä hetkellä tuotannon haasteena on lisäksi epävakaa poliittinen tilanne. Esimerkiksi Chevron suoritti porauksia Ukrainan esiintymissä, joiden hyödyntäminen on ainakin toistaiseksi viivästynyt. (*DOE, 2014*) Yhdysvaltalaiset kaasutoimijat näkevät kasvavan LNG-tuonnin vaikuttavan Euroopan kaasunhintoihin. ANGA:n mukaan Yhdysvaltojen alkaessa tuoda LNG:tä Eurooppaan, Venäjän Gazprom tulee laskemaan kaasunhintojaan pystyäkseen pitämään kiinni markkina-alueestaan. Yhdysvaltojen tuotannon edustajat näkevät Gazpromin huolen on ymmärrettävänä, sillä yhtiön osuus Venäjän bruttokansantuotteesta on noin 10 %. (*ANGA, 2014*)

6. MUIDEN MAIDEN LIUSKEKAASUVARANNOT

Tämän työn puitteissa käsiteltäviksi ovat valittu Yhdysvaltojen lisäksi liuskekaasun kannalta tällä hetkellä kiinnostavimmat maat, jotka ovat Kiina ja Venäjä sekä Euroopan yleisen tilanteen lisäksi Puola, Iso-Britannia ja Ranska.

6.1 Kiina

Kiina on maailman suurin energiankuluttaja ja sillä on arvioitu olevan suurimmat liuskekaasuvarannot. Vuonna 2012 maakaasu vastasi vain 4,7 % Kiinassa käytetystä primäärienergiasta. (BP, 2013) IEA:n 2012 tekemän tutkimuksen arvion mukaan, Kiina tulee lähes viisinkertaistamaan kaasunkulutuksensa vuoteen 2035 mennessä. (IEA, 2012) Kiinan hallinnon tavoitteena on kasvattaa kaasun osuutta primäärienergianlähteenä nykyisestä alle 5 %:sta, 10 %:iin vuoteen 2020 mennessä, korvaamaan kivihiilen kulutusta. (Wang, C. et al. 2014) Kiinan hallitus on asettanut aggressiiviset teknologian kehittämissuunnitelmat seuratakseen Yhdysvaltoja liuskekaasutuotannon aloittamisessa. Kiinan on tarkoitus kasvattaa tuotantoaan vuoden 2012 lähes nollatasosta, 6,5 bcm liuskekaasua vuodessa vuoteen 2015 ja 80–100 bcm vuodessa vuoteen 2020. (Wang, Q. et al. 2014) Kuvassa 19 on esitetty Kiinan konventionaaliset maakaasuvarannot sekä liuskekaasun teknisesti hyödynnettävät varannot ja arviot kokonaisvarannoista. Kuvasta nähdään miten suuri merkitys liuskekaasutuotannolla olisi Kiinan energiaomavaraisuudelle. Kiinan konventionaaliset maakaasuvarannot ovat energiankulutukseen verrattuna pienet, mikä on johtanut kaasun vähäiseen osuuteen energialähteenä. Verrattuna Kiinan vuoden 2012 vuosikulutukseen, teknisesti hyödynnettävät maakaasu- ja liuskekaasuvarannot riittävät kattamaan kulutuksen 240 vuodeksi. Laskettaessa tähän arviot kokonaisvarannoista saadaan riittävyudeksi 1175 vuotta. On oletettavissa Kiinan lisäävän kaasunkulustaan merkittävästi nykyisestä.



Kuva 19. Kiinan konventionaaliset kaasuvaramot suhteessa teknisesti hyödynnettävään liuskekaasuun ja arvioihin kokonaisvarannoista sekä vuoden 2012 vuosikulutus (BP, 2013a, EIA, 2013)

Kiinan liuskekaasuvarantoja on kartoitettu muutaman vuoden ajan hallitusvetoisella projektilla. Kiinan liuskekaasuesiintymien geologisten ominaisuuksien sanotaan olevan kompleksisia ja siten hankalampia ja kalliimpia hyödyntää kuin Yhdysvalloissa. (IEA, 2012) Kiina ei ole vielä onnistunut hyödyntämään esiintymiään kannattavasti, johtuen rajallisesta teknologisesta osaamisesta, joten he joutuvat joko harjoittelemaan tuotannon prosessien hallintaa tai ostamaan ulkomaalaisilta yrityksiltä osaamista ja tuotantolisenssejä. Kiinalaiset ovat jo pystyneet kopioimaan amerikkalaisilta toimijoilta vaakaporaus- sekä vesisärö- tysteknologioita ja he suorittavat niillä koeporauksia esiintymissään. Kuitenkin esiintymien haasteellisuudesta johtuen, voidaan olettaa varsinaisen tuotannon alkamissa kestävän vielä useita vuosia. Kiinan liuskekaasuesiintymät ovat Yhdysvaltojen esiintymiä syvem- mällä ja niiden savipitoisuus on korkea, jolloin poraus ja vesisärötys on haastavampaa. Myös puuttuva infrastruktuuri asettaa rajoitteita ja viivästyttää tuotannon alkamista, sillä esiintymät ovat kaukana suurista kulutusalueista ja välimatkat ovat pitkiä. Viisivuotissuun- nitelmassa (2011-2015) kaasunlisäystavoitteet näkyvät kaasuputkiston laajentamisen se- kä varastointikapasiteetin lisäyksen muodossa. Alueellinen vesipula asettaa lisähaasteita liuskekaasutuotannolle. Veden runsas käyttäminen Kiinan teolliseen tuotantoon vesipulan uhalla, on myös herättänyt kansainvälisesti keskustelua. (Wang, C, et al. 2014)

Kiinalaiset yritykset ovat olleet aktiivisia Yhdysvalloissa, jossa ne ovat tehneet yhteistyö- sopimuksia liuskekaasualan toimijoiden kanssa kerätäkseen tuotanto-osaamista. Kiinan IPR-lainsäädäntö on kyseenalainen ja ulkomaalaisilla toimijoilla on huolena tuotteidensa ja laitteidensa kopiointi. Tästä huolimatta suuret kansainväliset kaasu- ja öljy-yritykset ovat luoneet liikekumppanuussuhteita kiinalaisiin valtionyrityksiin. Tämä kertoo yritysten suu- resta kiinnostuksesta Kiinan epäkonventionaalisten kaasuvarojen tuotantomahdollisuuk- siin. (IEA, 2012)

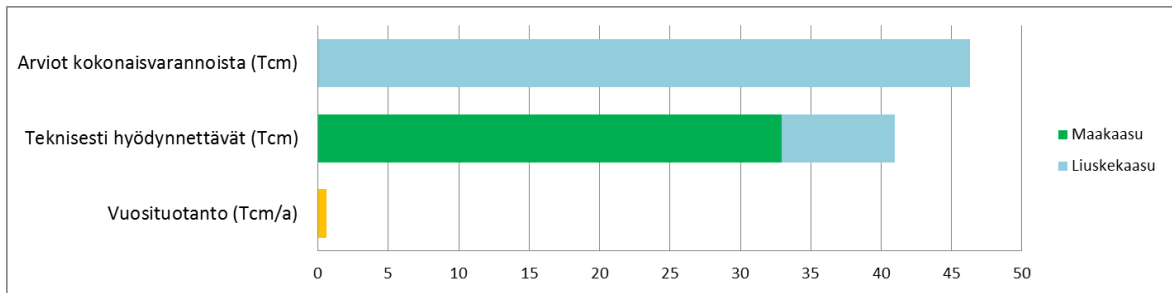
Kiinalla on suuri potentiaali pienentää kasvihuonekaasupäästöjensä kasvua ottamalla liuskekaasuvarantonsa käyttöön ja korvaamalla kaasulla kivihillen kulutusta. Vuonna 2011 Kiina vastasi 25,5 % koko maailman kasvihuonekaasupäästöistä. (IEA, 2013b) Tästä joh- tuen toimenpiteillä Kiinassa on potentiaalisesti maailmanlaajuisia vaikutuksia ilmaston- muutoksen hillitsemiseksi. Kiina julkaisi vuoden 2013 lopulla käynnistävänsä seitsemän päästökaupan pilottihanketta. Hankkeiden tavoitteena on kerätä kokemuksia kansallisen päästökauppajärjestelmän rakentamista varten, jonka on tarkoitus käynnistyä jo vuonna 2016. Kuitenkin Kiinan vuosittainen energiankulutuksen kasvu on massiivista ja Kiina tu- lee olemaan riippuvainen kivihillestä vielä useiden vuosikymmenien ajan. (Ulkoministeriö, 2013) Kiinassa merkittävänä motivaationa kaasun käytön yleistymiseen, hiilen ja öljyn

sijaan, on sen puhtaampi palaminen ja siten ilmanlaadun paraneminen. (IEA, 2012) Nopea vaurastuminen on muuttanut kiinalaisten suhtautumista ympäristökysymyksiin. Paikalliset ihmiset ovat kasvavissa määrin huolissaan lähiympäristön veden-, maaperän- ja sen tuottamien ruokakasvien laadusta. Huono ilmanlaatu on saanut paikalliset osoittamaan mieltään Pekingissä, mistä johtuen hallitus joutui sulkemaan keskustan hiilivoimalaitoksia vuonna 2012. Pekingin keskustassa on jo investoitu hiilikattiloiden muuttamiseksi puhtaammin palaviksi kaasukattiloiksi. (Tekes, 2013)

Johtuen voimakkaasti keskitetystä päätös- sekä toimeenpanoelimistään, voidaan Kiinassa selvittää liuskekaasutuotantoon liittyviä haasteita ja hidasteita nopeallakin aikataululla ja päästä siten aloittamaan tuotanto jo muutamassa vuodessa. Kiinassa korkeana prioriteettina on teollisuuden ja talouden kasvu, joten motivaatio aloittaa liuskekaasutuotanto on korkea. Verrattuna Eurooppaan ja Yhdysvaltoihin, huoli ympäristövaikutuksista on pienempi, vaikka niihinkin kohdistuva huomio on lisääntymässä. (IEA, 2012)

6.2 Venäjä

Maakaasulla on Venäjälle suuri merkitys niin taloudellisesta kuin poliittisestakin näkökulmasta ja Venäjän konventionaaliset maakaasuvarannot ovat merkittävät. Liuskekaasulla on ollut suuri vaikutus kaasumarkkinoihin, eivätkä Gazpromin toimijat nähneet vallankumouksen tuloa. Konventionaalisten esiintymien hyödyntäminen on epäkonventionaalisia esiintymiä kustannustehokkaampaa ja niiden tuotantoteknologiat ovat helpompia. Venäjän alueella on 17,6 % maailman todennetuista maakaasuesiintymistä, mikä on toiseksi eniten maailmassa. (BP, 2013a) Kuvasta 20 nähdään Venäjän teknisesti hyödynnettävät maakaasu- ja liuskekaasuvarannot sekä arviot kokonaisliuskekaasuvarannoista. Vuoden 2012 vuosituotannolla laskettuna, maakaasuvarat riittävät 55,6 vuodeksi ja teknisesti hyödynnettävät liuskekaasuvarat lisäävät riittävyttä 14,6 vuotta. Venäjällä ei siten ole vielä lähi vuosikymmeninä tarvetta hyödyntää liuskekaasuvarantojaan. Epäkonventionaalisten varantojen merkitys on jo kuitenkin huomioitu. Arvioidut liuskekaasun kokonaisvarannot kasvattavat Venäjän kaasuväarojen riittävyttä 150 vuotta. Pitkällä aikajänteellä on siten oletettavaa, että Venäjä hyödyntää liuskekaasuvarantojaan. (BP, 2013a, EIA, 2013)



Kuva 20. Venäjä konventionaaliset kaasuvarannot suhteessa teknisesti hyödynnettävään liuskekaasuun ja arvioihin kokonaisvarannoista (BP 2013a, EIA 2013)

Venäjä on maailman suurin maakaasun vientimaa. (CIA, 2014) Vuonna 2012 se vastasi 75 %:sta Euroopan ulkopuolelta tulevasta maakaasun putkituonnista sekä toimitti pieniä määriä LNG:tä Aasian markkinoille. (BP, 2013a) Muutokset Euroopan kysynnässä vaikuttavat voimakkaasti Venäjän talouteen, sillä se on Venäjän suurin asiakas. (Kropatcheva, 2014) Euroopan kannalta on kiinnostavaa, mitä tapahtuu Venäjän kaasuviennille ja -hinnoille liuskekaasun tullessa energiamarkkinoille, joko Yhdysvalloista LNG-tuontina lyhyellä aikajänteellä tai pidemmällä aikajänteellä eri maiden alkaessa hyödyntää omia liuskekaasuvarantojaan. Vaikka Yhdysvaltojen LNG-viennin oletetaan markkinaohjautuvasti suuntautuvan pääosin Aasian markkinoille, se tulee vaikuttamaan myös globaaleihin kaasun markkinahintoihin ja osan toimituksista nähdään suuntautuvan myös Eurooppaan. Yhdysvaltalaiset kaasutoimijat näkevät, että Yhdysvaltojen alkaessa tuoda LNG:tä Eurooppaan, Venäjän maakaasukonserni Gazpromin joutuu laskemaan maakaasun hintojaan siten, että pystyy pitämään kiinni markkina-alueestaan. (ANGA, 2014) Kaasunviennin merkitys Venäjän taloudelle on suuri, sillä Gazprom vastaa noin 10 % Venäjän bruttokansantuotteesta. (Gazprom, 2008)

Venäjän talouskehitysministeriö kommentoi, ettei pidä Yhdysvalloista tulevaa liuskekaasua uhkana, sillä konventionaalisen kaasun tuotanto Venäjällä ylläpitää kilpailukykyä. Myös Venäjän ulkoministeriö on vakuuttanut, ettei Venäjä ole huolissaan liuskekaasuvallankumouksesta ja ettei se pelkää menettävänsä asemaansa Euroopan kaasumarkkinoilla. Gazprom puolestaan varoittaa Eurooppaa liuskekaasutuotannon ympäristön saastuttavuudesta ja ettei tuotantoa voida tehdä kannattavasti. (Gazprom, 2013) Todellisuudessa hallinnon kommentteista on pikemminkin huomattavissa huoli liuskekaasuvallankumouksen vaikutuksien suuruudesta. Venäjän merkittävä valta-asema kaasunvientimaana on muuttumassa, mikä on tunnustettu myös Venäjän hallinnossa. Heidän markkinoilleen on tulossa uusia toimijoita ja osa heidän asiakkaistaan saattaa aloittaa oman kaasuntuotannon. Tällä on Venäjälle niin taloudellinen kuin poliittista valta-asemaa heikentävä vaikutus. Monien Euroopan maiden riippuvuus Venäjän kaasutoimituksista, on isoin tekijä yksit-

täisten maiden liuskekaasutuotannon aloittamisessa. Lisäksi maat kartoittavat uusia tuontimahdollisuuksia ja LNG-terminaalien rakentamista. Venäjä on käyttänyt energialähteitään ulkopoliittikan työkaluna, erityisesti vanhoihin Neuvosto-maihin, mikä puolestaan aiheuttaa EU:lle epävarmuutta. (Kropatcheva, 2014) Venäjä sulki vuoden 2008 talvella Ukrainan läpi menevän kaasuputkiston maksamattomien laskujen takia, aiheuttaen päämääräisenä kaasuntoimittajana kaasukriisin Keski-Eurooppaan. (Wyciszkievicz, 2009)

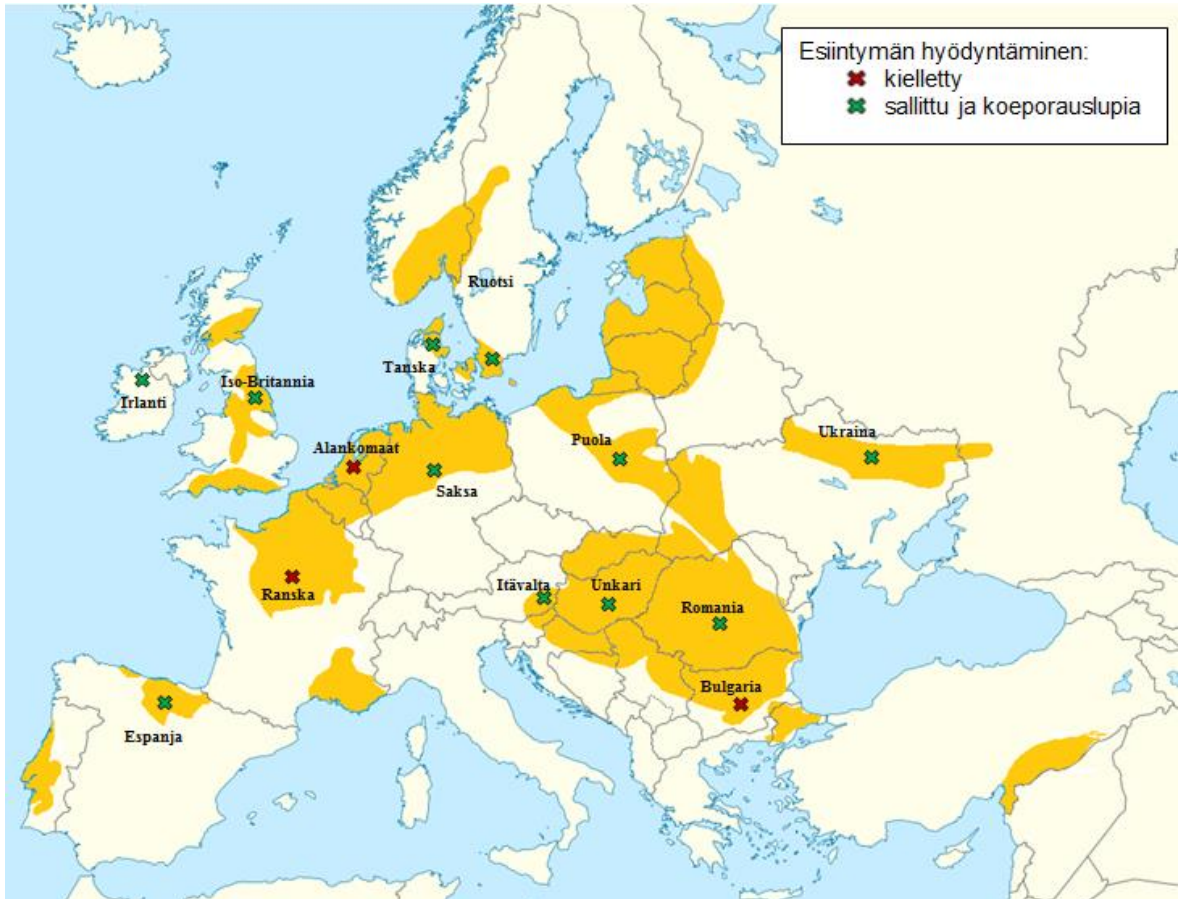
Liuskekaasun vaikutuksesta, Yhdysvalloista on vapautunut globaaleille markkinoille tarpeettomana LNG-tuontia, joka on Venäjän myymää öljyn hintaan indeksoitua putkikaasua edullisempaa. Yhdysvalloista tuodaan Eurooppaan edullista kivihiltä, mikä on puolestaan laskenut kaasun kysyntää. Lisäksi Venäjä oli valmis aloittamaan LNG-viennin Yhdysvaltoihin 2015, mikä peruuntui alkaneesta liuskekaasutuotannosta johtuen. Venäjän myöntyminen muutoksiin näkyy joustoissa pitkäaikaissovimuksissa ja laskeneissa kaasunhinnnoissa. (Kropatcheva, 2014) Venäjältä Kiinaan on suunniteltu kaasuputkiston rakentamista. Kuitenkin samanaikaisesti, Kiina kartoittaa omien liuskekaasuvarantojensa hyödyntämistä. Nähdään, ettei Kiina halua olla Venäjään tuontiriippuvuussuhteessa yhtään pidempään kuin on pakko. (Brookings, 2014)

6.3 Eurooppa

Euroopan epäkonventionaaliset kaasuvarat ovat herättäneet kiinnostusta Yhdysvaltojen liuskevallankumouksen käynnistyttyä. Euroopan kaasumarkkinat ovat maailman toiseksi suurimmat ja niiden riippuvuus tuontikaasusta kasvaa merkittävästi perinteisten varantojen ehtyessä ja kaasun ennakoitun kulutuksen kasvaessa. Lisäksi maakaasun hinnat ovat korkeita, mikä motivoi Euroopan sisäisten energiavarojen hyödyntämiseen. (IEA, 2012) Vuonna 2012 Euroopan ulkopuolelta putkituontina tulleesta maakaasusta noin 75 % oli Venäjältä ja loput Algeriasta, Libyasta ja Iranista. LNG-tuonti Eurooppaan oli suurimmilta osin Qatarista, Algeriasta ja Nigeriasta. (BP, 2013a) Yleisesti voidaan sanoa Euroopan kaasuputkiston ja -varastojen olevan hyväkuntoisia, mutta ei yhtä laajalti levittyneitä kuin Yhdysvalloissa. (IEA, 2012) DOE ja Brookings näkevät, että Euroopassa ei tule tapahtumaan Yhdysvaltojen kaltaista laajaa ja nopeasti leviävää liuskekaasuvallankumousta, mutta tuotanto tulee varmasti käynnistymään. (DOE 2014, Brookings 2014)

Euroopan liuskekaasuesiintymät ja porausaktiivisuus on esitetty kuvassa 21. Kuvasta nähdään esiintymien levittyneen laajalle, mutta suhtautumisen hyödyntämiseen olevan

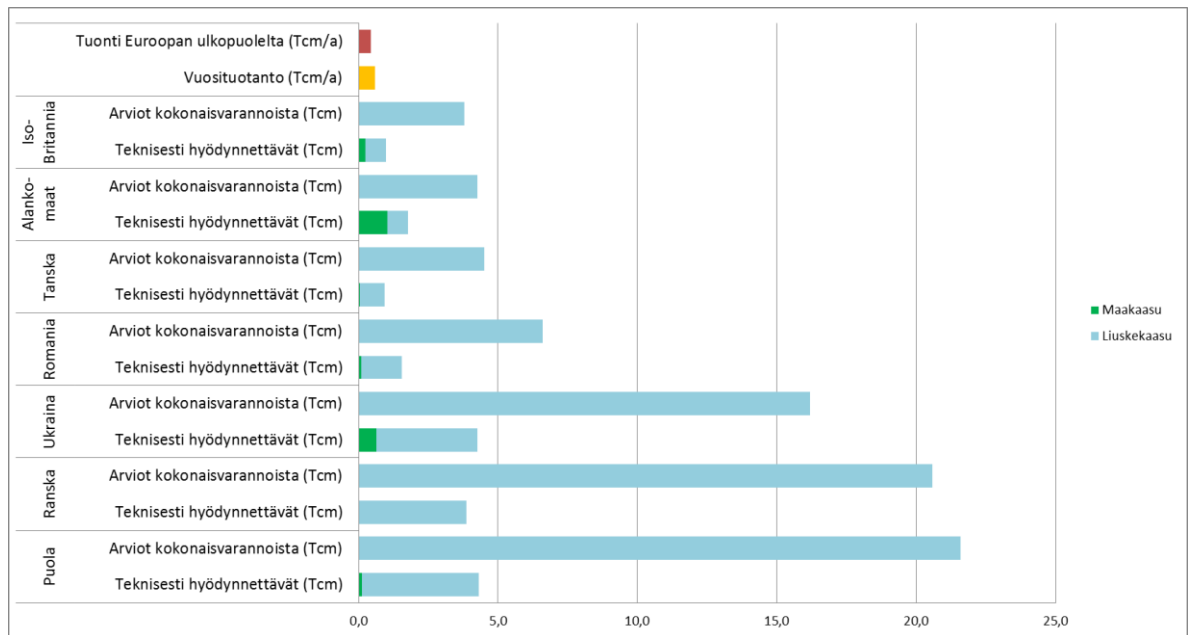
vaihtelevaa. Ranskassa, Alankomaissa ja Bulgariassa varantojen hyödyntäminen on toistaiseksi kokonaan kielletty lainsäädännöllä. Suuret kansainväliset öljy- ja kaasuyritykset ovat tehneet aktiivisesti koeporauksia, mutta toistaiseksi varantojen hyödyntäminen on kohdannut suurta kansalaisvastustusta, eikä se ole ollut taloudellisesti yhtä kannattavaa kuin Yhdysvalloissa.



Kuva 21. Euroopan liuskekaasuesiintymät ja porausaktiivisuus vuonna 2013 (Economist, 2013, EIA, 2013)

Euroopan maiden liuskekaasuvarantojen suuruus sekä kaasun vuosikulutus ja Euroopan ulkopuolelta tuodun kaasun määrä on esitetty kuvassa 22. Euroopan suurimpien teknisesti hyödynnettävien liuskekaasuvarantojen on arvioitu olevan Puolassa, Ranskassa ja Ukrainassa. Kuvasta näkee konventionaalisten varantojen vähyden ja siten yksittäisten maiden kasvava riippuvuus kaasuntuonnista. Esimerkiksi Puolan konventionaalisten varantojen riittävyys vuoden 2012 kulutuksella, on noin 7 vuotta. Teknisesti hyödynnettävillä liuskekaasuvarannoilla riittävyys on yli 250 vuotta. Arviot Puolan kokonaisliuskekaasuvarannoista nostavat riittävyyden yli 1300 vuoteen. Teknisesti hyödynnettävien liuskekaasuvarantojen merkitys maiden energiaomavaraisuudelle on erittäin suuri ja merkittävänä motivaationa tuotannon aloittamiseen on Euroopassa tunnistettu olevan keino päästä eroon yhden tuontimaan monopolista ja kasvattaa liuskekaasulla energian huoltovarmuut-

ta. Lisäksi monella maalla liuskekaasuvarat saattavat mahdollistaa kaasunviennin aloittamisen, erityisesti putkivientinä naapurimaihin. (EIA, 2013)



Kuva 22. Euroopan maakaasureservit ja merkittävimmät liuskekaasuvarannot 2013 sekä niiden riittävyys vuoden 2012 vuosituotannolla ja kaasuntuonti Euroopan ulkopuolelta (EIA, 2013, BP 2013a)

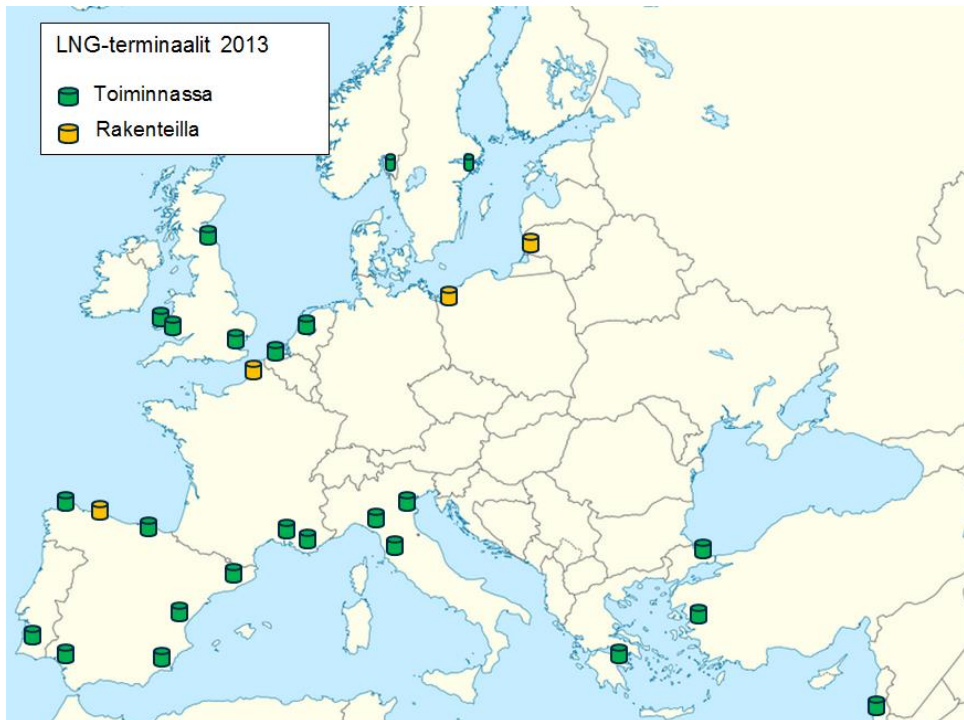
Euroopan epäkonventionaaliset liuskekaasuesiintymät ovat tyypillisesti syvemmillä kuin Yhdysvalloissa, mikä nostaa hyödyntämisen kustannuksia. Lisäksi geologiset olosuhteet esimerkiksi Ruotsissa ja Puolassa tehtyjen testiporausten perusteella, ovat osoittautuneet vähemmän suotuisiksi kuin Yhdysvaltojen esiintymissä. Brookingsin keräämien tietojen mukaan, arviot liuskekaasutuotannon kustannuksista Iso-Britanniassa ovat \$7-\$12/mmbtu, kun Yhdysvalloissa kustannukset ovat \$5-\$6/mmbtu. (Brookings, 2014) Euroopan esiintymiä kartoittamassa olleita ulkomaalaisia energiayrityksiä on poistunut alkunostuksen jälkeen, johtuen esiintymien kompleksisuudesta ja taloudellisesta kannattamattomuudesta. Kuitenkin DOE pitää merkittävänä syynä yritysten lähtöön Euroopasta sitä, että Yhdysvallat on niille toimintaympäristönä suotuisampi. Yhdysvaltojen esiintymät ovat toistaiseksi kannattavampia porata ja niiden geologia on tutumpi. Lisäksi poliittinen suhtautuminen ja tuotantoon vaikuttava lainsäädäntö on Yhdysvalloissa valmiimpi ja stabiilimpi. (DOE, 2014) Lisäksi puhutaan ympäristöjärjestöjen ehtineen Eurooppaan ensin, mistä johtuen keskustelu on keskittynyt lähinnä huoleen ympäristövaikutuksista. Reagointi Yhdysvalloissa jo tapahtuneisiin energiamarkkinoiden muutoksiin vaikuttaa jääneen vähemmälle.

Suhtautuminen liuskekaasuesiintymien hyödyntämiseen on ollut voimakkaasti vaihtelevaa maakohtaisesti. Kiinnostus riippuu tuontipolttoaineiden määrästä ja lähteistä, mielenkiinnosta kohti energiaomavaraisuutta ja huoltovarmuuden parantamista sekä tuotannon tunnistetuista ympäristön pilaantumisriskeistä. Lisäksi Euroopan suuri asukastiheys on aiheuttanut alueittain suurta vastustusta liuskekaasun poraukselle, joka vaatii konventionaalista tuotantoa suuremman pinta-alan. Euroopan komissio on selvittänyt kansalaisten suhtautumista liuskekaasutuotannon aloittamista kohtaan vuonna 2012 teettämällään tutkimuksella. Tuloksena saatiin enemmistön eurooppalaisista suhtautuvan liuskekaasutuotantoon varauksella tai täysin kielteisesti. Suhtautuminen on positiivista Itä-Euroopan maissa kuten Puolassa, joissa on totuttu raskaaseen teolliseen tuotantoon ja nähdään liuskekaasun tuoma talouskasvu merkittävänä. Ennen laajamittaisen tuotannon alkamista, olennaisena pidetään lisätutkimuksen tekeminen ympäristö- ja terveysvaikutuksista, EU:n kattavien yhtenäisten säädösten luominen ja kansalaisten tietomäärän lisääminen sekä tuotannon käynnistyttyä läpinäkyvyys toiminnoissa. (European commission, 2013a) EU on osoittanut kannustusta liuskekaasutuotannon aloittamiseen esimerkiksi Ukrainassa, jossa on lupaavat esiintymät. Tämä on kuitenkin poliittisesta epävakaudesta johtuen toistaiseksi mahdotonta. Yksittäisenkin Euroopan maan tuotannon alkaminen tarkoittaisi uuden kaasuntoimittajan tuloa markkinoille, jolloin saataisiin pienennettyä Venäjä-riippuvuutta. (Kropatcheva, 2014)

Vaikka Euroopan kompleksisempia resursseja ei pystytä tänä päivänä kustannustehokkaasti hyödyntämään, on teknologia jatkuvasti kehittymässä ja prosessi tulee edullisemmaksi. Ympäristöongelmien ratkaiseminen hallitumman teknologian avulla tulee lisäämään tuotannon hyväksyttävyyttä, pienentäen myös todellisia riskejä. (Brookings, 2014) Kuten mainittu aiemminkin, julkinen keskustelu Euroopassa on pääosin keskittynyt huoliin ympäristövaikutuksista. Rinnalle on kuitenkin noussut teollisuuden kilpailukyvyyn lasku sekä mahdollisuudet kasvattaa energianhuoltovarmuutta Euroopassa paikallisella energian lähteellä.

6.3.1 LNG ja Eurooppa

LNG tuodaan Eurooppaan suurilta osin Qatarista sekä Algeriasta ja Nigeriasta, mutta myös Atlantin yli Trinidad & Tobagosta ja Perusta. Euroopassa oli vuonna 2012 toiminnassa yhteensä 24 LNG-terminaalia, joiden sijainnit on esitetty kuvassa 23. Euroopan ainoa LNG-vientiterminaali sijaitsee Pohjois-Norjassa ja se on ollut toiminnassa vuodesta 2007.



Kuva 23. Euroopan LNG-terminaalit ja rakenteilla olevat 2013 (GIE, 2013)

Euroopan uudelleenkaasutuskapasiteetti kasvoi välillä 2005-2010 2,3-kertaiseksi ja sen on ennustettu kasvavan 3,5-kertaiseksi vuoteen 2015 mennessä. Gas Infrastructure Europan 2013 kartoituksen perusteella vuoteen 2020 mennessä on suunnitteilla yhteensä 26 suuremman ja kuuden pienemmän kokoluokan terminaalin rakentamisen aloittaminen. Kasvaneesta kapasiteetista huolimatta, LNG-tuonti Eurooppaan on ollut laskussa vuodesta 2011 ja terminaalien hyödyntämisyhteisissä terminaaleissa on ollut vain 25-50 % kokonaiskapasiteetista. Uutena Euroopan LNG-terminaaleihin tuli mahdollisuus uudelleenlastaamiseen eli käytännössä LNG:n myyntiin eteenpäin. Vuonna 2012 noin 10 % Eurooppaan tulleesta LNG:stä jälleenmyytiin. (GIE, 2013) Merkittävä syy vähentyneeseen LNG:n tarpeeseen on edullisen kivihiiilen tuonti Yhdysvalloista Eurooppaan yhdistettynä EU:n mataliin päästöoikeuksien hintoihin.

6.3.2 EU:n energiapolitiikat

EU on pyrkinyt olemaan edelläkävijä ilmastonmuutoksen vastaisessa työssä. Tavoitteena on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä vuoteen 2050 mennessä 80 % vuoden 1990 tasosta. Laillisesti sitovat 20-20-20-päästövähennystavoitteet ovat olleet energia- sekä ilmastonmuutospolitiikan suurimpana edistäjänä. Tavoitteet sisältävät seuraavat velvoitteet: 1) Kasvihuonekaasupäästöihin 20 %:n vähennys 90-luvun tasosta, 2) Uusiutuvan energian osuuden nousu 20 %:iin, jäsenmaakohtaisesti vaihtelevin osuuksin, ja 3) Energiatodellisuuden nousu 20 %:iin, vuoteen 2020 mennessä. (European commission, 2008) Ta-

voitteita ollaan saavuttamassa, mikä on osittain taloustaantumien ansiota. Päästökauppa-järjestelmä on osoittautunut haasteelliseksi, sillä päästöoikeuksien hinta on pysynyt enna-koitua alhaisempana ja uusiutuvan energian kannattavuus on vielä kiinni tuissa.

Vuoden 2014 alussa julkaistiin tavoitteet jatkokauden 2020-2030 päästövähennyksille. Euroopan ilmastopolitiikan 2030-viitekehityksen tavoitteina on saada kasvua puhtaista tek-nologioista, hillitä ilmastonmuutosriskiä kustannustehokkaasti ja huolehtia jäsenmaiden kohtuuhintaisen energian saannista. 2030 tavoitteena on vähentää kasvihuonekaasu-päästöjä 40 % vuoden 1990 tasosta ja kasvattaa uusiutuvien energiamuotojen osuus 27 %:iin. Uudessa 2030 paketissa ei kuitenkaan ole enää jäsenmaakohtaisia sitovia uusiutu-van energian tavoitteita, mikä on lievennys 20-20-20-tavoitteisiin. Taustalla ovat tavoitteet ylläpitää EU:n kilpailukykyä ja mahdollistaa päästövähennysten sekä vähähiilisen talou-den saavuttaminen muillakin keinoin, kuin investoimalla uusiutuvaan energiaan. (Europe-an commission, 2014) Kannattavana päästövähennysreittinä 2030-tavoitteisiin voidaan nähdä ydinenergian lisäys sekä kivihillen ja öljyn käytön korvaaminen maakaasulla, mikä todettiin tehokkaaksi menetelmäksi Yhdysvaltojen esimerkin osoittamana. Liuskekaasun laskiessa maakaasun markkinahintoja, se voi edistää päästövähennyksien kustannuste-hokasta saavuttamista. Kyseessä pitäisi kuitenkin olla lyhyen aikavälin ratkaisu ilmaston-muutostavoitteiden saavuttamiseksi. Maakaasun käyttämistä energialähteenä, ei nähdä pitkän aikavälin kestäväenä ratkaisuna, sillä kyseessä on fossiilinen polttoaine. Brookingsil-la nähdään, että EU:n ilmastomuutospolitiikan uudet suuntaukset tehtiin kulkemaan lin-jassa liuskekaasuvallankumouksen kanssa. (Brookings, 2014)

6.3.3 Euroopan tulevaisuuden suuntia

Kaasun kulutuksen kehityssuunnat Euroopassa vaihtelevat eri skenaarioissa riippuen ole-tetusta EU:n ilmastopolitiikasta. BP:n ennusteissa Euroopan kaasutuotanto laskee 21 % vuoteen 2030 mennessä, johtuen ehtyvistä konventionaalisista kaasuvaroista. Saman ennakointimateriaalin mukaan kaasu tulee kasvattamaan osuuttaan primäärienergian läh-teenä +26 %. Tästä johtuen kaasuntuonti Eurooppaan tulee kasvamaan peräti 76 %, huo-limatta laskevasta primäärienergian kulutuksesta. Euroopan riippuvuus tuontienergiasta kasvaisi lähes 50 %:n, jolloin kiinnostus hyödyntää paikallisia liuskekaasuesiintymiä kas-vaa. (BP, 2013b)

Pöyryn vuonna 2013 tekemässä tutkimuksessa on analysoitu liuskekaasutuotannon hyö-tyjä Euroopassa. Tutkimuksen perusteella, liuskekaasutuotannon aloittamisella on poten-tiaalia lisätä 400 000-800 000 työpaikkaa vuoteen 2035 mennessä ja 600 000-1,1 miljoo-

naa työpaikkaa vuoteen 2050 mennessä. Tutkimuksen arviot tuotannon alkamisen kiihdyttämästä talouskasvusta ovat 1,7-3,8 tuhatta miljardia euroa vuosien 2020-2050 välillä. Alkuperäiset ennustukset Euroopan riippuvuudesta tuontikaasuun ovat olleet 89 % vuoteen 2035 mennessä, kun liuskekaasutuotannolla tämä saataisiin vähentymään 62-78 %:n. Liuskekaasun tuotanto kasvattaisi Euroopan energian toimitusvarmuutta. Lisäksi tutkimuksen perusteella liuskekaasutuotanto ei hidastaisi uusiutuvien energioiden osuuden kasvattamista Euroopassa, vaan vähentäisi sähköntuotannon kivihiiilen käyttöä. (Pöyry, 2013b)

Yhdysvaltojen näkemyksiä Euroopan liuskekaasutuotannosta on esitetty tarkemmin kappaleessa 5.11. Yleisesti nähdään, että tuotannon aloittamisesta ollaan vielä 10-20 vuotta Yhdysvaltoja jäljessä. Vuonna 2014 käynnistynyt Ukrainan ja Venäjän välinen sotilaallinen konflikti on kasvattanut energian huoltovarmuuden merkitystä Euroopassa entuudestaan. Kriisi ja sen tuoma poliittinen epävakaus on herättänyt uudestaan huolen Venäjän kaasutoimitusten jatkumisesta Itä-Eurooppaan. Euroopan nopeasti kasvanut tarve hajauttaa energiantoimittajiaan ajaa EU:n nopeammin arvioimaan myös liuskekaasua vaihtoehtona. (Reuters, 2014) Tilanne saattaa käynnistää kaupallisen mittakoon liuskekaasutuotannon aiemmin arvioitua nopeammalla aikataululla.

6.3.4 Aktiviteetteja Euroopan maissa

6.3.4.1 Iso-Britannia

Iso-Britannian liuskekaasuvarat ovat huomattavasti alkuperäisiä arvioita suuremmat, hallituksen vuonna 2012 teettämän selvityksen perusteella. Iso-Britannian konventionaaliset maakaasuvarat ovat loppumassa ja ydinvoimalaitokset tulossa käyttöikänsä päähän, mikä nähdään ajavan maan kohti energiakriisiä ja entistä enemmän riippuvaiseksi ulkomaisista energiavaroista. Energiamarkkinoita valvova viranomainen Ofgem on varoittanut yleistyvistä sähkökatkoksista jo muutaman vuoden sisällä. (BBC 2013) Vaihtoehtona energian saannin takaamiseksi olisi Venäjä-riippuvuus, mitä on briteille vastenmielinen ajatus. Liuskekaasu nosti Iso-Britanniassa kenties koko Euroopan suurimman vastustuksen ja vuonna 2013 järjestettiin voimakkaita mielenosoituksia. (Taloussanomat, 2013) Hallitus julisti uudistuksia, joiden avulla pyritään tukea liuskekaasuteollisuuden kehitystä. Nämä pitävät sisällään selkeämmät ohjelinjat porauskentän luvanhakuprosessiin sekä konsultaatiomahdollisuuksia veroetujen saamiseksi. Lisäksi liuskekaasun tuotannosta häiriintyvät yhteisöt voivat saada £100 000 eli noin 117 000 € hyvityksen ja 1 % osuuden tuotannon tuotosta. (BBC, 2013) Iso-Britannian hallitus on jo linjannut varoja vuodelle

2014 liuskekaasun hyödyntämisen mahdollistamiseen. Yhdysvaltojen näkemyksestä Iso-Britannia on Euroopan liuskekaasutuotannon kannalta kaikkein lupaavin ja lähimpänä tuotannon alkamista. (DOE, 2014)

6.3.4.2 Puola

Puola on ollut Euroopan aktiivisin valtio liuskekaasutuotannon aloittamisessa. Voimassa on yli sata porauslupaa, joista yhdeksässä suoritetaan jo vaakaporauksia ja vesisärötystä. Varovaisen nykyarvion mukaan Puolan liuskekaasuvarannot riittäisivät nykykulutuksella 250 vuoden maakaasutarpeen kattamiseen. Korkeammat arviot näyttävät esiintymien kattavan 1300 vuoden kulutuksen. (IEA, 2013) Merkittävä vaikutus liuskekaasun menestykseen on ollut Puolan myönteisellä suhtautumisella varantojen hyödyntämisen. Tähän todennäköisimpiä syitä ovat maan haja-asuttaneisuus, erityisesti esiintymien alueella, sekä pitkä historia öljy-, hiili- ja kaasuteollisuudessa. (IEA, 2012)

Puolan öljyteollisuus on maailman vanhimpia ja maassa on tuotettu öljyä ja kaasua perinteisistä lähteistä 1850-luvulta lähtien. Puolalla on kuitenkin ollut pitkäaikaisia ongelmia energiansaannin turvaamisen kanssa perinteisten esiintymien ehtyessä ja on tällä hetkellä riippuvainen Venäjän kaasusta. Tämä kärjistyi vuonna 2009 Venäjän sulkiessa kaasuputkensa Ukrainaan, jonka kautta kaasuputkistot tulevat Puolaan. Energian huoltovarmuuden kasvattamiseksi, Puola on todella motivoitunut hyödyntämään liuskekaasuvarantojaan mahdollisimman nopealla aikataululla. Hallitus on ilmoittanut tavoitteekseen liuskekaasun kaupallisen tuotannon aloittamisen vuonna 2015. (Shale gas Europe Poland, 2013) Venäjä-riippuvuudesta vapautumisen lisäksi hallitus pyrkii kiihdyttämään liuskekaasulla talouskasvua ja tuoda uusia työpaikkoja. Lisäksi tavoitteena on uudistaa energiasektoria puhtaammaksi siirtymällä pois kivihillen käytöstä. Liuskekaasun tuotantokustannusten voidaan olettaa jäävän Yhdysvaltojen kustannuksia korkeammaksi, mutta tuontikaasun korkea hinta lisää sen kannattavuutta. Kaasun käytön uskotaan lisääntyvän nykyisestä tulevina vuosina, erityisesti kaasuvoimalaitosten korvattaessa vanhenevaa kivihilivoimalaitoskantaa. (IEA, 2012)

CoconoPhillips sai Puolassa poraamistaan kaasukaivoista kesällä 2013 lupaavia määriä kaasua. Vaikka määrät eivät vielä riittäneet taloudelliseen kannattavuuteen, kyseessä oli suurin Euroopassa saavutettu kaasuvirtaus. Tätä ennen Exxon Mobil, Marathon Oil ja Talisman Energy luopuivat porauksista, epäonnistuttuaan hyödyntää kannattavasti Puolan esiintymiä. Ulkomaiset yritykset kommentoivat maaperän geologian olevan haastava ja kritisoivat byrokratian määrää. Puolan hallituksen on määrä tehdä uudistettu lainsäädäntö

tukemaan porauslupien saamista ja liuskekaasuvarojen käyttöönottoa. (Reuters, 2013) Merkittävänä syynä yritysten poistumiseen Puolasta, nähtiin hankalammat toimintaolosuhteet kuin Yhdysvalloissa. Yrityksille oli toistaiseksi kannattavampaa palata poraamaan Yhdysvaltojen esiintymiä, sillä voittoa verrattuna Yhdysvaltojen tuotantoon ei Puolan esiintymissä saatu tarpeeksi tuotannon käynnistymiseksi. (DOE, 2014)

6.3.4.3 Ranska

Ranskassa on Euroopan toiseksi suurin liuskekaasupotentiaali IEA:n tutkimuksen perusteella ja sen odotettiin olevan yksi ensimmäisistä Euroopan maista, jossa varantoja hyödynnettäisiin. (IEA, 2012) Ranska asetti vuonna 2011 vesisärötyksen kieltävän lain, tehden siten nykytekniikalla liuskekaasuvarojen hyödyntämisen mahdottomaksi. Kielto sai alkunsa ympäristöjärjestöjen maanlaajuisista mielenosoituksista. Vesisärötystekniikka kiellettiin, johtuen sen kiistellyistä ympäristövaikutuksista, erityisesti pohjavesien pilaantumisista koskien. Kiellosta johtuen hallitus peruutti kaksi myöntämäänsä koeporauslupaa. (Bloomberg, 2013) Toinen syy vastustukseen on huoli porauskaivojen vaikutuksesta alueiden suosioon, sillä osa liuske-esiintymistä sijaitsee alueilla, joiden pääelinkeinona on turismi. (IEA, 2012) Ranskan hallitus kuitenkin kannustaa tutkimaan edelleen uusia liuskekaasun hyödyntämismenetelmiä vesisärötystekniikan sijaan. Ranskan pyrkimyksenä on päästä vaihtoehtoisilla energiaratkaisuilla eroon maan voimakkaasta ydinenergiariippuvuudesta. (Public Sénat, 2012) IEA:n vuoden 2012 raportissa oletetaan tapahtuvan Ranskan vesisärötyksen käyttökiellon osittainen kumoaminen. Tämä vapauttaisi uusia liuske-esiintymiä, mutta jättäisi todennäköisesti herkimmät sijainnit koskemattomiksi. (IEA, 2012)

7. SUOMI

7.1 Maakaasu Suomessa

Maakaasun kokonaiskulutus Suomessa vuonna 2012 oli noin 35 TWh, mikä vastaa 8,5 % osuutta käytetystä primäärienergiasta. (Tilastokeskus, 2013) Osuus on suhteellisen pieni verrattuna muiden Euroopan maiden keskimääräiseen maakaasulla tuotetun energian määrään, joka on yli 33 %. Maailmanlaajuisesti vastaava luku on 23,9 %. (BP, 2013a)

Kuvassa 24 on esitettyä Suomen maakaasun siirtoverkosto, joka on kattaa pinta-alaltaan pienen osan Suomea. Putkiston piirissä asuu noin puolet Suomen väestöstä. Laajan kaasuputki-infrastruktuurin rakentaminen haja-asutettuun Suomeen ei ole ollut houkuttelevaa, eikä Gasumilla ole suunnitelmassa laajentaa Suomen maakaasuputkistoa lähiaikoina. Esimerkiksi kuvassa näkyvä suunnitteilla oleva putkiston laajennus Turkuun ei ole tällä hetkellä ajankohtainen. Tavoitteena on lisätä kaasun käyttömahdollisuuksia Suomessa kiinteän putkiston sijaan LNG:n avulla. Suomen maaperässä ei ole maakaasuesiintymiä, vaan kaikki maakaasu tulee Suomeen kaksoisputkistoa pitkin Venäjältä Imatran kautta. Siirtoverkoston pituus on 1300 km ja siihen liitettyä jakeluverkostoa on yhteensä 1900 km. (Suomen Kaasuyhdistys, 2012) Kaasuverkoston toiminnasta ja kaasuntoimituksista vastaa Gasum, josta 25 % on venäläisen Gazpromin omistuksessa. Nykyinen kaasun hankintasopimus on voimassa vuoteen 2025 ja se takaa noin 60 TWh vuositoimitukset Venäjältä Suomeen. (Energiamarkkinavirasto, 2012) Hankintasopimuksen piirissä voidaan kasvattaa Suomen kaasunkulutus nykyisestä noin kaksinkertaiseksi.



Kuva 24. Suomen maakaasuputkisto (Gasum, 2013)

Maakaasun kulutus Suomessa jakautuu seuraavasti: energialaitokset ja -yhtiöt käyttävät 55,7 %, teollisuus 44,3 % ja loput 7,2 % toimitetaan paikallisjakeluna vähittäismyyjien kautta yksityisten kuluttajien käyttöön. Lähes 40 % maakaasusta käytetään yhdistettyyn sähkön ja lämmöntuotantoon. Suurimmat teollisuuden maakaasun käyttäjät ovat metsäteollisuus 23 %:lla ja kemianteollisuus 20 %:lla kokonaiskulutuksesta. (Suomen Kaasuyhdistys, 2012)

Sähköntuotannossa käytetty polttoaine määräytyy pääosin sen hinnan mukaan. Viime vuosina sähköntuotannossa on käytetty kasvavissa määrin kivihiiltä, päästöoikeuksien hintojen ollessa matalalla. Suomessa tuotetun sähkön polttoainekustannuksia on vertailtu taulukossa 6, josta nähdään kivihiilen raaka-ainekustannusten olevan alle 60 % maakaasun kustannuksista, mistä johtuen se on houkuttelevampi vaihtoehto. Vuonna 2013 osa maakaasulla toimivista voimalaitoksista oli vajaatoiminnalla ja noin 20 % sähköstä ostettiin ulkomailta, pääosin Ruotsista. Tuontisähkөөn verrattuna maakaasulla tuotetun sähkön hinta nousee kannattavuuttaan.

Taulukko 6. Sähköntuotannon polttoaineiden sekä tuontisähkön kustannukset (2012) ja osuudet (2013) (Tilastokeskus 2012, Energiateollisuus 2013)

Polttoaine	Hinta €/MWh	Osuus kokonais- sähkön hankinnasta
Kivihiili	31,1	11,8
Maakaasu	55,5	8,0
Turve	16,4	4,0
Sähkön tuonti	45,0	19,2

Maakaasun kulutus on viimeisen kymmenen vuoden ajan vähentynyt keskimäärin 4 % vuodessa. (Tilastokeskus, 2013) Vähennykset ovat aiheutuneet teollisuuden ja energiayhtiöiden käytön laskusta. Keskeisinä syinä erityisesti viimeaikaisille vähennyksille, ovat maakaasuun kohdistuneet veronkorotukset sekä talouden taantuma. Lisäksi sähköntuotantoon käytettyyn maakaasun määrään vaikuttaa Pohjoismaissa vesivoimalla tuotetun sähkön määrä. (Energiamarkkinavirasto, 2012)

Eduskunta päätti vuonna 2010 portaittaisesta maakaasun verotuksen korotuksesta. Vuoden 2011 alusta vero nostettiin tasolle 3 €/MWh, vuonna 2013 tasolle 5,5 €/MWh ja vuonna 2015 vero nostetaan tasolle 7,7 €/MWh. Korotukset eivät koske sähköntuotantoon käytettyä maakaasua. Veronkorotuksilla pyritään rajoittamaan teollisuuden ja yksityiskuluttajien maakaasun käyttöä, ja siten vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Ilmasto- ja

energiastrategiassa on pyritty hillitsemään fossiilisten polttoaineiden käytön lisääntymistä energian kulutuksen kasvaessa, jotta syntyvää energiavajetta korvattaisiin uusiutuvilla energialähteillä. (Energiamarkkinavirasto, 2012)

Huoltovarmuuden takaamiseksi pidetään maakaasulla keskimäärin kolmen kuukauden normaalikulutusta vastaavat tuontipolttoainevarastot, häiriöiden varalta ja täyttämään kansainväliset sopimusveloitteet. Varastointivelvoite koskee yhdyskuntien energiankäyttöä, kuten sähkön ja lämmöntuottoa, mutta ei teollisuutta. Veloitteen voi perustellusta syystä myös korvata jollain toisella polttoaineella. Kaasun huoltovarmuuden takaamiseksi voidaan hyödyntää nesteytetyn kaasun varastoja, joista voidaan tarvittaessa höyrystää maakaasuverkkoon lisää kaasua. Porvoossa sijaitsee tällä hetkellä Suomen ainoa LNG-varasto, joka rakennettiin vuonna 2010. Jos Venäjällä ilmenee toimitusepävarmuutta, on suurin osa Suomen maakaasun kulutuksesta korvattavissa vaihtoehtoisilla energiamuodoilla. Tämä tarkoittaa ensisijaisesti kevyttä ja raskasta polttoöljyä sekä nestekaasua ja ilmapropaaniseosta. (Energiamarkkinavirasto, 2012)

Vuonna 2012 Suomessa oli yli 1300 kaasulla toimivaa ajoneuvoa, niin yksityisautoja kuin joukkoliikenteen linja-autoja. Niiden osuus maakaasun kulutuksesta oli vain 0,2 %. Autojen lukumäärä on ollut jyrkässä kasvussa vuodesta 2007, josta määrä on nelinkertaistunut. Rajoitteena maakaasuautojen yleistymiseen on rajallinen infrastruktuuri ja harvassa olevat tankkauspaikat. (Suomen Kaasuyhdistys, 2012) Suomessa oli vuonna 2013 20 tankkausasemaa, jotka sijaitsivat yhtä lukuun ottamatta kaasuverkoston alueella. Gasumilla on tarkoituksena lisätä tankkauspaikkojen lukumäärää ja laajentaa niiden kattavuutta LNG:n avulla. (Siitonen, 2013) Taulukossa 7 on vertailtu liikenteen polttoainekustannuksia Suomessa. Maakaasulla pystytään laskemaan kustannuksia noin 33-42 % verrattuna bensiiniin ja dieseliin. Nähdään myös biokaasun olevan jo tänä päivänä kannattava vaihtoehto korvaamaan liikenteen perinteisiä polttoaineita.

Taulukko 7. Liikenteen polttoainekustannukset 100 km (Gasum, 2014b)

Polttoaine	€ / 100 km
Bensiini	12,3
Etanoli	11,3
Diesel	10,7
Biokaasu	7,6
<i>Maakaasu</i>	<i>7,2</i>

Laivaliikenteen puolella, vuonna 2015 voimaantuleva kansainvälisen merenkulkujärjestö IMO:n rikkipäästädirektiivi tulee lisäämään kaasunkäyttöä laivojen polttoaineena. Direktiivi edellyttää laivojen rikkidioksidipäästöjen vähentämistä tasolle, joka edellyttää joko polttoaineen vaihtamisen kaasuun tai esimerkiksi rikkipesurin asentamisen. Rikkidirektiivi tulee koskemaan Itämeren meriliikennettä ennen muuta maailmaa. Tämä tarjoaa mahdollisuuden kilpailuetuun direktiivin laajetessa koskemaan globaalisti koko meriliikennettä. Gasumin laskelmien mukaan rikkidirektiivin vaatimusten toteuttamisen kustannusvaikutusta voidaan merkittävästi pienentää siirtymällä LNG:n käyttöön. Kustannukset saadaan laskemaan arvioidusta 500 M€/a arvoon 100 M€/a. (Siitonen, 2013)

7.2 Biokaasu Suomessa

Suomen kotimainen kaasuntuotanto perustuu lähinnä biokaasuun, joka on toistaiseksi suurimmilta osin peräisin kaatopaikkojen talteenottokaasusta. Biokaasua saadaan lisäksi kunnallisten ja teollisuuden jätevedenpuhdistuslaitosten sekä maatalouden toimintojen yhteydessä, joista kaasua saadaan mädättämällä sivuainevirtoja. Kaatopaikalla muodostuvan metaanikaasun talteenotto on velvoitettu lainsäädännöllä. Jätteenpolttolaitosten yleistyessä muodostuvan kaatopaikkakaasun osuus pienenee. Biokaasun hyödyntämisyhteys Suomessa on noin 66 %, loput tuotetusta biokaasusta on poltettu soihdussa. (Suomen Kaasuyhdistys, 2012)

Gasum on tutkinut biokaasun syöttämistä kaasuverkkoon ja havainnut, ettei tämä kohtuullisella kaasunosuudella tapahtuessaan häiritse kaasujärjestelmää. (Siitonen, 2013) Ensimmäinen maakaasuverkkoon biokaasua syöttävä 7 GWh tuotantolaitos valmistui vuonna 2011 Kouvolaan. Laitos käyttää raaka-aineenaan jätevesilietettä, erilliskerättyä biojätettä ja peltobiomassaa. (Energiamarkkinavirasto, 2012) Vuonna 2012 biokaasua tuotettiin yhteensä 0,5 TWh, joka vastaa noin 1,5 % Suomen kokonaiskaasunkulutuksesta. Gasum on laskenut biokaasun lisäyspotentiaaliksi Suomessa yhteensä 17 TWh. Tämä on jakautunut jättepohjaiselle biokaasulle 2 TWh, energiakasveille 7-8 TWh ja kaasutettavalle puupohjaiselle materiaalille 8 TWh. (Siitonen, 2013)

Työ- ja elinkeinoministeriö TEM on asettanut tavoitteeksi vuoteen 2025 mennessä korvata 10 % Suomen maakaasusta biometaanilla. Tämä tarkoittaisi noin 3,6 TWh vuosituotantoa, mikä seitsenkertaistaisi biokaasun tuotantomäärän vuodesta 2012.

7.3 LNG:n merkitys Suomelle ja Itämeren LNG-hankkeet

LNG-tuonnin myötä Suomen kaasumarkkinat avautuvat, kun saadaan avattua useampia maakaasun tuontiväyliä sekä riippuvuus Venäjän tuontimaakaasusta laskemaan. Vaihtoehdot hankintakanavat ja useammat kaasuntuojat parantavat huoltovarmuutta ja todennäköisesti mahdollistavat maakaasun saannin kilpailukyysisempään hintaan. Gasumista tuli Pohjoismaiden suurin LNG-toimija alkuvuodesta 2014 sen ostettua enemmistö norjalaisen Skangassin LNG-jakeluliiketoiminnasta. Gasumin strategiana yritysostossa on parantaa kilpailukyysisen LNG:n saatavuutta Suomessa. (Gasum, 2014a)

Itämeren alueen kaasumarkkinoiden kehityshankkeeseen liittyy laajoja investointisuunnitelmia. Tarkoituksena on rakentaa suuren kokoluokan LNG-terminaali Finngulf sekä Suomen ja Viron välinen kaasuputkisyhteys Baltconnector. Kehityshankkeiden tarkoituksena on integroida Itämeren verkostot sekä liittää ne laajempaan Euroopan kaasuverkostoon Liettuan ja Puolan välisellä putkisyhteydellä. Hankkeiden tavoitteena on tuoda kaikkien maiden kaasuvaramat eri toimijoiden käyttöön, jolloin kaasunsyöttö on turvattu myös häiriötilanteissa ja kulutushuiput pystytään hallitsemaan paremmin. Hankkeiden tavoitteisiin on myös kirjattu niiden parantavan biokaasun asemaa ja siihen liittyviä mahdollisuuksia. (Gasum, 2013)

Suomeen suunnitellun Finngulf LNG-terminaalin vaihtoehdot sijaitsevat etelärannikolla sijaitsevat Inkoo ja Tolkkinen. Terminaalin vuotuinen tuontimäärä on 10-20 TWh maakaasua, mikä vastaa noin 25-50 % koko alueen eli Suomen ja Baltian maiden kaasun kokonaiskulutuksesta. LNG-tuonti mahdollistaa maakaasun kasvaneen käytön sekä kaasuputkistossa että sen ulkopuolella. LNG:tä voidaan kuljettaa junilla tai rekoilla yksittäisille kuluttajille kuten tuotantolaitoksiin. Terminaalin on suunniteltu valmistuvan vuonna 2018, jolloin myös kaasutoimitukset käynnistyvät. Baltconnector-kaasuputki yhdistää Suomen ja Baltian kaasuverkot sekä uuden LNG-terminaalin Suomenlahden pohjaa pitkin. Näissä kahdessa hankkeessa on kyse yli 500 miljoonan euron investoinnista, jossa terminaalin osuus on 380 m€ ja kaasuputken osuus noin 110 m€. (Gasum, 2013)

Suomeen sijoitettava, suuren mittakaavan LNG-terminaali mahdollistaa LNG:n varastoinnin ja riittävän maakaasukapasiteetin verkkoon syötettäväksi myös huippukulutuksen aikana. Kaasun hinta tulee mahdollisesti laskemaan, mikä lisää kaasun kilpailukykyä ja todennäköisesti kasvattaa sen käytön suosiota. LNG muotoisena kaasun käyttömahdollisuudet laajenevat rajallisen kaasuputkiston ulkopuoliseen käyttöön. Suomi ja Viro kilpailevat EU-tuesta Itämeren uuden LNG-terminaalin rakentamiseksi. Terminaalin lopullinen

sijainti selviää vuoden 2014 aikana. Gasum suunnittelee lisäksi keskisuuren kokoluokan terminaalin rakentamista Turun Pansioon, jonka on tarkoitus palvella meriliikennettä ja teollisuutta. Terminaalin on suunniteltu valmistuvan vuoden 2015 lopussa. Lisäksi Outokummun terästehdas on rakennuttamassa LNG-terminaalia Tornioon vuodesta 2016 alkaen. (Gasum, 2013)

7.4 Tulevaisuuden suuntia

Yleisesti Euroopassa ilmapiiri on maakaasulle myönteinen ilmastonmuutostavoitteiden saavuttamisessa. Suomessa, sen sijaan, maakaasun portaittaisesta verotuksesta johtuen kaasun käyttö on kallistunut entuudestaan ja kulutus siten vähentynyt.

Gasum olettaa maakaasun kulutuksen pysyvän Suomessa vielä vuoteen 2030 asti vuoden 2010 tasolla eli noin 44 TWh/a. Vuoden 2012 poikkeuksellisen matalasta tasosta maakaasun käyttö tulee lisääntymään noin 28 %. (Energiamarkkinavirasto, 2012) Suomen ilmastonmuutosstrategioilla on suuri vaikutus tulevaisuuden kaasunkäytön kehitykseen. Edullinen maakaasu soveltuisi kustannustehokkaasti edistämään ilmastonmuutoksen hillitsemistavoitteita korvatta kivihiilen ja öljyn käyttöä. Yhdysvalloista tuotu kivihiili on laskenut kivihiilen hintoja Suomessa kolmanneksen, mikä on edullisten päästöoikeuksien myötä johtanut kasvaneeseen kivihiilen kulutukseen. Muualla maailmalla maakaasun käyttö on ennustettu kasvavan ja maiden tavoitteena on vähentää sillä kasvihuonekaasupäästöjään.

TEM:n Energia- ja ilmastonmuutosstrategiassa asetetaan tavoitteeksi maakaasun aseman turvaaminen. Strategia sisältää toimenpiteinä kaasuverkkojen vahvistusinvestointeja ja kannusteita liikenteen päästöjä vähentäviin autoihin. Tarkoituksena on kasvattaa kaasunkäyttäjien luottoa kaasun hinnan vakauteen ja toimitusvarmuuteen. Maakaasun asemaa pyritään turvaamaan LNG-hankkeilla ja niiden kautta markkinoille tulevilla uusilla toimitusketjuilla. Biokaasulla pyritään lisäämään kotimaisen uusiutuvan energian tuotantoa ja käyttöä. Tavoitteena on korvata Suomessa käytetystä maakaasusta noin 10 % bio-SNG:llä vuoteen 2025 mennessä. Tätä edistetään hakemalla EU:lta rahoitusta bio-SNG-laitoksen rakentamiseen. (TEM, 2013)

7.5 Haastattelujen tulokset

Tutkimustyötä varten haastateltiin suomalaisia yrityksiä sekä toimijoita, jotka oli tunnistettu liuskekaasun kannalta olennaisiksi. Haastateltavilta selvitettiin ymmärrystasoa liuskekaasun merkityksestä ja sen vaikutuksista Eurooppaan, maakaasun ja LNG:n mahdollisuuksista Suomessa, uusiutuvien merkityksestä kaasutulevaisuudessa sekä näkemyksiä liuskekaasuun liittyvistä liiketoimintamahdollisuuksista. Lisäksi on esitelty kaksi suomalaista yritystä, joilla on liiketoimintaa liuskekaasun parissa, sekä heidän näkemyksiään liuskekaasusta. Haastateltavat on esitelty liitteessä 2.

Liuskekaasulla ja sen tuomilla liiketoimintamahdollisuuksilla on potentiaalisesti merkitystä suomalaisille yrityksille kahdella tavalla. Suora vaikutus on yritysten mahdolliset toiminnot liuskekaasutuotannossa ja sen kehittämisessä, joko Yhdysvalloissa tai liuskekaasutuotannon laajentuessa Eurooppaan ja muualle maailmaan. Epäsuora vaikutus on, että kaasun käyttömäärä mahdollisesti kasvaa laskevien kaasuhintojen ansiosta. Tämän oletetaan tapahtuvan kaikkialla maailmassa LNG:n ja ilmastotavoitteiden myötä, jolloin yritysten investoinnit ja osaaminen kaasun hyödyntämisessä tuovat liiketoimintamahdollisuuksia myös suomalaisille yrityksille.

Suomalaisesta yrityskentästä on tunnistettu paljon mahdollisuuksia vastata liuskekaasutuotannon ympäristöhaasteisiin ja mahdollisuuksiin toimittaa energiatehokkaita kaasunkäyttölaitteita. Kuitenkin yleinen ilmapiiri on odottava yrityksillä, jotka eivät ole liuskekaasutoiminnoissa mukana. Huoli liuskekaasun ympäristövaikutuksista on suuri, mistä johtuen odotetaan luotettavia vaikutusanalyyskejä ja esimerkiksi EU:n linjauksia. Suomalaiset yritykset näkevät tuotantoon liittyvien mahdollisuuksien tulevan ajankohtaiseksi vasta toimintojen levitessä Eurooppaan. Kaasun käyttöön liittyvät yritykset näkevät ilmiön merkityksen sen markkinoille tuoman lisääntyvän kaasunmäärän myötä. Toistaiseksi kuitenkin koetaan edullisen kivihiilen hidastavan kaasun käyttöön liittyviä investointeja. Liuskekaasuliiketoiminnassa jo olevat toimijat näkevät, että suomalaisten yritysten tulisi nähdä ympäristöhaasteet pikemminkin ympäristövaikutusten pienentämismahdollisuutena ja siten liiketoimintamahdollisuutena. Nämä yritykset näkevät, että kaikkien yritysten tulisi olla valveutuneempia liuskekaasun tuomien mahdollisuuksien suhteen.

7.5.1 Liuskekaasun vaikutuksia

Maakaasun tuonnista Suomeen vastaavan Gasumin mukaan liuskekaasun tuotannon kasvettua voimakkaasti Yhdysvalloissa on maakaasun merkitys kasvanut globaalisti. Esi-

merkiksi IEA nosti tuntuvasti kaasun osuutta tulevaisuuden primäärienergian lähteenä. Liuskekaasu on tällä hetkellä ilmiö Yhdysvalloissa, jolla on Elinkeinoelämän tutkimuslaitos Etlan näkemyksen mukaan potentiaalia olla valtava maailmanlaajuinen ilmiö. Wärtsilä kommentoi, että Yhdysvaltojen liuskekaasu on jo aikaansaanut huomattavan paljon investointeja kaasunkäyttöön, vaikka on joitakin viitteitä että kyseessä voi olla jonkun asteinen kupla. Outotecilla ei ole tehty liuskekaasusta syvällisempää seuranta ja käyty keskustelu on keskittynyt tuotannon ympäristöhaasteisiin. Foster Wheelerillä ei ole erikoisemmin perehdytty liuskekaasuun ilmiönä, mutta nähdään maailman energiamarkkinoiden olevan jossain määrin mullistuneet. Foster Wheelerillä koetaan liuskekaasu-kivihiili-epätasapainon jatkuvan vielä jonkun aikaa. Energiamarkkinoilla vallitsee hankala ja odotettava tilanne, johon liittyy epävarmuutta.

Neste Oil näkee, että globaalisti liuskekaasun aikaansaama suuri muutos on ollut se, että energian hinnat eivät ole nousseet kuten on koko ajan oletettu tapahtuvan. Neste Oililla ei nähdä Yhdysvaltojen liuskekaasun pudottavan Suomen kaasunhintaa kuin marginaalisesti. Gasum kommentoi liuskekaasutuotannon alkamisen näkyvän Suomessa toistaiseksi epäsuorasti edullisen tuontikivihiilen muodossa.

TEM näkee EU:n ilmasto- ja energiapolitiikassa energiaomavaraisuuden lisäämisen sekä 20-20-20-tavoitteet liuskekaasun kannalta merkittäviksi puskureiksi. Kaasulla voidaan saavuttaa parempi energiatehokkuus sekä pienemmät kasvihuonekaasupäästöt, kuin muilla fossiililla polttoaineilla. TEM:n mielestä on mahdollista, että päästökaupalla päästäisiin eroon kivihiilen käytöstä ja samalla kaasusta tulisi öljyä houkuttelevampaa. Neste Oilin mukaan Euroopassa koetaan kiusalliseksi, kuinka vastoin kaikkia ilmastopoliittisia pyrkimyksiä, on otettu vastaan Yhdysvalloista tuleva halpa hiili vastaan. Yhdysvaltojen kivihiilivarannot ovat mittavat ja uutena tarjolla ovat mittavat liuskekaasuesiintymät. Nämä ovat johtaneet Euroopassa sekä lisääntyneeseen kivihiilen ostoon että kilpailukyvyyn heikentymiseen.

Edullinen kaasu määrittelee, missä tehdään kaasumootori-investointeja. Pohjois-Amerikka on nostanut myyntiä selvästi ja se on tällä hetkellä Wärtsilän suurin kaasukäyttöisten laivojen markkina-alue. Wärtsilä on vahvasti mukana kaasun käyttöön liittyvissä toiminnoissa ja näkee, että laivaliikenteen kaasumootorien kysynnässä tulee olemaan lähivuosina muuallakin kuin Yhdysvalloissa paljon kasvua, johtuen voimaantulevista laivojen päästödirektiiveistä. Maapuolella sen sijaan Euroopassa edullinen kivihiili hidastaa kaasuun liittyviä investointipäätöksiä, ja olemassa olevat kaasulaitokset ovat olleet vajaa-käytössä. Foster Wheelerillä kivihiilen pudonneet hinnat ovat aktivoineet siihen liittyviä

projekteja ainakin hetkellisesti, kun taas biomassaprojektit ovat osittain viivästyneet. Myös suuressa kasvussa olleet FT- ja SNG-projektit ovat parhaillaan suvantovaiheessa. Laitokset ovat satojen miljoonien investointeja. Ensimmäisen vaiheen laitokset ovat demonstraatiolaitoksia, mikä osaltaan lisää investointiriskiä ja edellyttää myös julkista tukea. Neste Oilin mukaan liuskekaasutuotannon sivutuotteilla NGL:llä on ollut vaikutusta petrokemian teollisuuteen. Edullisen raaka-aineen innostamana Yhdysvaltalaiset yritykset ovat investoimassa kasvavissa määrin muoviteollisuuteen. Neste Oilin mukaan eurooppalaisten petrokemian teollisuuden yritysten pitäisi tästä johtuen miettiä liiketoimintasuunnitelmiaan uusiksi. Etna näkee polymeeriteollisuuden lisäksi energiantensiivisen teollisuuden kärsivän menetetyistä kilpailukyvyistä.

7.5.2 Maakaasun käyttömahdollisuuksia

Tällä hetkellä maakaasun osuus energiankulutuksesta on Suomessa pieni ja sitä käytetään lähinnä Etelä-Suomessa, mikä johtuu TEM:n mukaan rajallisesta infrastruktuurista sekä kaasun korkeasta hinnasta. Maakaasun kulutus oli ollut pitkään nousussa, mutta hinnan merkittävä nousu, verrattuna kilpaileviin öljyyn ja kivihiiileen, pienensi osuutta. Teollisuus ei ole enää tehnyt investointeja kaasuun, johtuen hinnan lisäksi yhden toimittajan toimitusvarmuudesta. Gasumin mukaan, parhaat olemassa olevat mahdollisuudet kaasun osuuden lisäämiseen koko Suomen energiapalettiin, ovat kasvattaa teollisuuden ja liikenteen kaasunkäyttöä ja korvata sillä kivihiiilen käyttöä voimalaitoksissa. LNG:n ja maakaasun avulla voidaan korvata teollisuudessa käytettyjä kivihiiiltä, raskasta polttoöljyä ja nestekaasua. Energiantuotantosektorilla kaasun käyttö tuskin lisääntyy merkittävästi johtuen energiatehokkuutta ja uusiutuvan energian lisäämistä koskevista tavoitteista ja ydinvoiman lisärakentamisesta. VTT:n mukaan kaasukombilaitokset mielletään teknologioiltaan parhaiksi ja niiden korkeat hyötysuhteet edistävät energiatehokkuustavoitteisiin pääsemistä. Kuitenkaan uusia laitoksia ei rakenneta, johtuen korkeasta raaka-aineen hinnasta, mistä johtuen osa vanhoistakin seisoo. Tällä hetkellä sähköä ostetaan vielä ulkomailta, joten tätä korvaamaan voisi lisätä kotimaista sähköntuotantoa ja mahdollisesti lähteä sähköntuotantiinkin. Neste Oil kommentoi, että Suomessa veroilla ohjailaan polttoaineiden hintoja paljon, sillä verot vastaavat 50-60 % loppuhinnasta, kun Yhdysvalloissa verojen osuus on vain 10 %. Verotuksella pystytään ohjailemaan voimakkaasti, minkä energialähteen suuntaan kulutus siirtyy. Tästä johtuen poliittisten päätöksentekijöiden on oltava huolellisia, ettei verotuksella saada aikaan ei-toivottuja tuloksia, jotka vääristävät tilannetta niin, että ympäristöä vähiten kuormittava teknologia menettää kilpailukykyään. LNG-hankkeet lisäävät kaasun käyttömahdollisuuksia, sillä se antaa mahdollisuuden hyödyntää kaasua

verkon ulkopuolella. VTT:n mukaan Suomeen tulevien LNG-terminaalien myötä ainakin teollisuuden polttoaineena käytetyn maakaasun määrä tulee kasvamaan.

Gasumin mukaan liikenteen ja laivaliikenteen puolellakin on todella paljon kaasun käytön lisäysmahdollisuuksia. Itämeren rikkidioksidipäästösäädösten myötä LNG:n käyttö laivojen polttoaineena lisääntyy. Tieliikenteen puolella LNG soveltuu hyvin pitkän matkan rekkakuljetuksiin. Kaasukäyttöisten yksityisautojen haasteena on tähän asti ollut muun muassa kattavan tankkaamisinfrastruktuurin puuttuminen. Gasumilla on tavoitteena kasvattaa tankkausasemien määrää nykyisestä. Kattavuutta voidaan laajentaa kaasuverkoston ulkopuolelle rakentamalla tankkausasemia biokaasun ja LNG:n varaan. LNG:n potentiaalia junaliikenteessä ei Gasum välttämättä näe Suomessa merkittävänä, mutta Airbus suunnittelee jo LNG:llä toimivia lentokoneita.

Gasumin mukaan, Suomen kaasutulevaisuuteen liittyy paljon avoimia kysymyksiä. Tällä hetkellä kaasun osuus on poikkeuksellisen pieni, vain 8,5 % primäärienergian kulutuksesta. Kulutus on vähentynyt noin 10 TWh huippukulutuksesta. Tähän on vaikuttanut muun muassa heikohko taloustilanne, mistä johtuen teollisuuden energiankulutus on vähentynyt. Taloustilanteen piristyessä, saattaa kaasunkäyttö kääntyä kasvuun. Halpa kivihiili on korvannut kaasun käyttöä Suomessa ja Bioenergia ry:n raportin mukaan vaikutus on alkanut näkyä myös vähentyneessä puun ja turpeen kulutuksessa.

Fortumin näkemyksestä tulevaisuuden polttoaineratkaisuja mietittäessä, on olennaista rakentaa puhtaita elementtejä jo olemassa olevan energiainfrastruktuurin päälle. Kaasun suhteen tulee miettiä sen tarjoamia mahdollisuuksia koko energiankulutusketjussa, sillä kyseessä on puhtaampi polttoainevaihtoehto niin voimalaitoksille kuin liikenteeseenkin.

7.5.3 Tuotanto ja vaikutuksia Eurooppaan ja muualle maailmaan

Etlan oletus on, että Euroopan liuskekaasuvarojen hyödyntäminen alkaa. Ennen tuotannon käynnistymistä täytyy kuitenkin ratkaista teknisiä haasteita ja ympäristöongelmia sekä linjata lainsäädäntöjä. Varantojen hyödyntämisessä on jo yritystä. Etlä olettaa, että esimerkiksi Puolan onnistuessa kannattavasti hyödyntää varantojaan, niin oletettavasti muuallakin innostutaan, erityisesti heikossa taloudentilassa. Yleisesti Euroopassa on liuskekaasutuotannon suhteen otettu kehityksen kanssa aikaisä, johtuen ympäristöhuolista.

Neste Oilin mukaan Euroopassa kestää monta vuotta ennen kuin päästään aloittamaan tuotantoa ja että tarkkaa alkamisaikataulua on vaikea arvioida. Vaikka teknologia on ole-

massa ja varannot olisivat kannattavia, täytyy tuotantoa aloittavan maan hallita hyödyntämisteknologia ja rakentaa tarvittava infrastruktuuri. Toimijoiden pitäisi lähteä Yhdysvaltoihin selvittämään tuotannon prosesseja. EU:n linjoilla on myös suuri vaikutus tuotannon alkamiseen ja todennäköisesti tullaan luomaan yhtenevä lainsäädäntö ennen varojen hyödyntämistä. Vaikka Euroopassa tullaan säätämään tuotanto seuraamaan vastuullista lainsäädäntöä, Kemira näkee, ettei tässä kuitenkaan aloiteta nollapisteestä. Usealla maalla on historiaa öljy- ja kaasutuotannossa ja liuskekaasutuotantoon soveltuvat vastaavanlaiset laitteet ja kemikaalit.

Outotec näkee liuskekaasun tuotannon laajenemisen Eurooppaan olevan haasteellista. Lisäksi Yhdysvalloissa koetaan olevan jo vakiintuneet menetelmät kaasun tuotantoon, joiden parantaminen eurooppalaisella tietotaidolla saattaa olla haasteellista. Siten liiketoimintapotentiaalia ei nähdä Euroopassa olevan, ennen tuotannon alkamista täällä. Euroopan tuotannon alkamiseen liittyy Outotecin näkökulmasta kuitenkin varovainen optimismi, mutta sitä ei nähdä tapahtumassa ennen pitkän ympäristövaikutusarvioinnin loppuun viemistä. Tätä ajatellen, Outotec näkee heillä olevan hyvin aikaa osallistua toimintoihin, sen vaikuttaessa kannattavalta. Outotecillä on kokemusta kaivosmetallurgisista vesistä ja osaamispaletissa on erilaisia poistovesien puhdistusmenetelmiä. Särötyksessä käytetyt kemikaalit ja niiden käsitteleminen ovat moninaisia, joten tarvitaan teknologioihin ja yksittäisen kentän ominaisuuksiin perehtymistä. Maanalaiseen toimintaan ei ole kiinnostusta lähteä, sillä in-situ tyyppiseen kaivostoimintaan nähdään liittyvän enemmän riskiä. Ympäristövaikutuksiltaan kyseenalaisessa liuskekaasutuotannossa toimimisessa, saattaa maineen menettämisen riski olla suuri, mutta vedenkäsittelijänä periaatteessa asettuisi ns. pelastajan-rooliin. Kestävyys on Outotecilla tärkeä tekijä mietittäessä toimintojen laajentamista. Yhteistyöprojektien kumppaneista pitää olla varma, sillä partnerin riskien nähdään olevan myös omia riskejä, vaikka toimintayhteys liittyisikin vain vesien puhdistukseen.

Kemira näkee liuskekaasutuotannon leviämisen Euroopan ja Afrikan esiintymiin olevan väistämätöntä, mutta se ei todennäköisesti tule tapahtumaan Yhdysvaltojen kaltaisena vallankumouksena. Esiintymät ovat vaikeammin saavutettavissa ja tuotanto on nyt jo kohdannut voimakasta vastustusta. Euroopassakin, esimerkiksi Puolassa ja Ukrainassa, nähdään liuskekaasun hyödyt, mutta olosuhteet ovat hankalat. Esimerkiksi Etelä-Afrikassa on laajat varannot ja hyödyntämiseen suhtautuminen on myönteistä. Venäjällä särötyksiä on tehty konventionaalisenkin tuotannon yhteydessä, joten heille kyseessä ei ole aivan uusi teknologia.

Eurooppa on Kemiralle tuttu toimintaympäristö ja nähdään, tästä kannattavan ottaa hyöty irti tuotannon alkaessa. Euroopassa ympäristönäkökulma on ollut vahvasti esillä ja lainsäädännöt tiukempia kuin Yhdysvalloissa. EU miettii parhaillaan, miten REACH tulee asettumaan tähän toiminta-alueeseen. Kemiran suunnitelmissa on ehdottomasti olla mukana toiminnoissa, liuskekaasutuotannon alkaessa levitä Eurooppaan. Euroopan markkinoille tullessa tarvitaan toimivat tuotteet, valmiudet niiden valmistamiseen sekä lupame- nettelyjen läpikäyminen.

Outotec näkee halvan energian hinnan vetäneen metallien, erityisesti raudan, tuotantoa Yhdysvaltoihin. Seuraavan ison haasteen eurooppalaisen teollisuuden kilpailukyvyllä näh- dään potentiaalisesti tulevan Kiinasta, kun he alkavat hyödyntää omia liuskekaasuvaran- tojaan. Kemiralla seurataan mahdollisuuksia Aasiassa, vaikka öljyn- ja kaasuntuotanto ei ole ollut avainasemassa heidän tutkimuslaitoksessaan Shanghaissa.

7.5.4 Kaasuputkisto ja LNG

Gasum tunnistaa, että liuskekaasun viennin lisääntyessä Yhdysvalloista voidaan tuoda LNG:tä myös Euroopan markkinoille. Haastattelussa Gasumia lokakuussa 2013, heillä ei ollut näkyvissä kaasuverkoston laajentamiseen liittyviä suunnitelmia, mahdollista Itämeren Balticonnectoria lukuun ottamatta. Esimerkiksi Turkuun jatkuva kaasuputki ei vaikuta ajankohtaiselta, vaan keskitytään LNG:n tuomiin mahdollisuuksiin. LNG tulee vaikutta- maan kaasumarkkinoihin voimakkaasti, sillä se mahdollistaa kaasun hyödyntämisen ver- kon ulkopuolellakin ja siten kasvattaa kaasun käyttömahdollisuuksia Suomessa. Neste- mäisessä muodossa kaasua voidaan kuljettaa kaasuverkon ulkopuolelle käytettäväksi. Tämän nähdään ensimmäisenä koskevan suurempia kulutuskohteita, kuten teollisuuslai- toksia. Gasum tekee yhteistyötä Tornion ManGa LNG-hankkeen kanssa, jossa yhdessä mukana olevien teollisuusyritysten, Outokummun, Rautaruukin ja EPV Energian sekä ruotsalaisen LKAB:n kanssa selvitetään nesteytetyn maakaasun hyödyntämistä teollisuu- den prosesseissa, energiantuotannossa ja laivaliikenteessä.

LNG-toimitusten myötä Suomen kaasunhankinta monipuolistuu, millä saattaa olla myös vaikutuksia kaasun hintaan. Maailmanlaajuisesti LNG:n kysynnän kasvu lisää myös LNG:n tarjontaa, ja todennäköisesti myös liuskekaasua tullaan nesteyttämään entistä enemmän ja viemään Yhdysvalloista Aasian ja Euroopan markkinoille, joissa kaasun hinta on selvästi korkeampi kuin Yhdysvalloissa. Neste Oililla ei uskota LNG:n laskevan kaasun hintaa merkittävästi, vaan korkeintaan pitävän sen nykyisellä tasolla, oletetun hinnan nou- sun sijaan. Kuljetuskustannukset tekevät, niin Yhdysvalloista, kuin muualtakin tulevasta

LNG:stä kalliimpaa kuin tuotantopaikalla. TEM:llä nähdään, että LNG-tuonnin myötä Venäjä tulee todennäköisesti laskemaan hintojaan voimakkaasti, sillä he haluavat pitää kiinni markkina-alueistaan.

LNG tulisi Suomeen uusien tuontireittien kautta, kun tähän asti kaikki maakaasu on tullut putkitoimituksina Venäjältä. Gasumin mukaan Venäjä on ollut Suomelle luotettava kaasuntoimittaja, ja vuodesta 1974 on ollut vain kaksi lyhyttä teknisistä syistä johtuvaa katkosta. LNG:n tuonnin aloittaminen parantaa maakaasun toimitusvarmuutta Suomessa entisestään.

Mietittäessä tulevaa LNG-tuontia, pidetään Gasumilla tärkeänä tarkastella kaasuntuonnin ympäristövaikutuksia. Liuskekaasuun tuontiin liittyen, ei ole vielä tehty linjauksia kumpaankaan suuntaan ja toistaiseksi seurataan tutkimuksia. Liuskekaasun ympäristövaikutuksista on kahdensuuntaista viestiä, joista osassa todetaan liuskekaasun olevan ratkaisu ilmastonmuutosta aiheuttavien kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen, ja toisessa esillä ovat tuotantoon liittyvät ympäristöongelmat, kuten runsas vedenkulutus ja mahdolliset maanjäristykset. Gasum näkee, että liuskekaasun tuotannon todellisista ympäristövaikutuksista on vaikea saada luotettavia puolueettomia arvioita. Gasumilla uskotaan, että liuskekaasun tuotantoteknologiaa voidaan edelleen kehittää entistä tehokkaammaksi ja ympäristöystävällisemmäksi.

7.5.5 Uusiutuvat energiamuodot, biokaasu ja SNG

Suomen yrityskehityksessä pidetään olennaisena kaasun potentiaalia uusiutuvien energioiden käytön edistämiseksi. TEM näkee kaasujärjestelmän toimivan parhaiten varakapasiteettina uusiutuville energiamuodoille, sillä kaasuturbiinit ovat nopeasti ylösajettavia laitteistoja, joissa kaasu palaa tehokkaasti ja puhtaasti. Gasumin mukaan LNG:tä voidaan käyttää uusiutuvien energialähteiden vara- ja tukipolttoaineena. LNG tukee uusiutuvien energiamuotojen, biokaasun ja bio-SNG:n, tuotantoa ja käyttöä. Etlan mukaan uusiutuvien mahdollisuudet paranevat niitä tuettaessa, mutta toteaa niiden läpimurtoon menevän vielä aikaa. Yleisesti energian hintojen tulisi nousta, jotta biokaasun kannattavuus paranisi, joten tilanne on muuttumassa liuskekaasusta johtuen epäedulliseen suuntaan. TEM:n mukaan, myös päästöoikeuksien hinnan noustessa esimerkiksi metsähakkeen tilanne tulisi edullisemmaksi, sillä tällä hetkellä ongelmana hakkeelle ja muillekin uusiutuville on kivihillen nopea hinnan lasku.

TEM:n mukaan lisääntynyt kaasun käyttö edistäisi uusiutuvien käyttöä, jos putkeen syötettäisiin sekoitukseksi bioperäistä metaania. Lisäksi mietittäessä suurta fossiilisen kaasun lisäämistä, on olennaista kasvattaa rinnalle biokaasun osuutta, jotta kaasunkäyttö saisi lisää hyväksyttävyyttä. Suomen biometaanitavoite vuoteen 2020 on asetettu tasoon, jossa putkessa virtaavassa kaasusta olisi 10 % biokaasua. Joutsenoon rakenteilla oleva biokaasulaitos edistää tähän tavoitteeseen pääsemistä. Gasumin mukaan biokaasun lisäyspotentiaalini on laskettu Suomessa olevan yhteensä 17 TWh, joka on jakautunut jätepohjaiselle, energiakasveilla tuotetulle ja kaasutettavalle puupohjaiselle biokaasulle. LNG kasvattaa myös biokaasun mahdollisuuksia, toimien tukipolttoaineena, jos tuotannossa on katkoksia. Tällöin pystytään rakentamaan myös autojen tankkausasemia biokaasulle kaasuverkoston ulkopuolella.

Foster Wheelerillä on ollut käynnissä useita biomassan kaasutukseen sekä SNG- ja FT-teknologioihin liittyviä hankkeita. SNG:n ja FT-dieselin infrastruktuuri on valmiina soveltuvaan liikenteen polttoaineiksi ja FT-tuotannon koko tuotantoketju on demonstroitu pilotmittakaavassa. Liuskekaasusta johtuen fossiilisten polttoaineiden hinnat ovat laskeneet, kun SNG vaatii polttoaineiden hintojen nousua ollakseen kannattavaa. Huolimatta siitä, että vihreydestä ollaan yleisesti valmiita maksamaan hieman enemmän, vaatii SNG paljon tukirahoja muuttuneessa tilanteessa.

Mentäessä kohti kasvavaa metaanitaloutta, Fortum näkee Suomen liiketoimintavahvuuksien tulevan olemaan uusiutuvien energiamuotojen puolella. Suomella ei ole omia kaasuarantoja, mutta biokaasua sekä bio-SNG:tä voidaan valmistaa kilpailemaan Venäjän tuontikaasun kanssa. Linkitettäessä uusiutuvia kaasuja kasvaneeseen kaasujärjestelmään, on tärkeä kuitenkin huomioida miten suureksi uusiutuvan kaasun määrä voi kasvaa ja mitkä ovat kasvun vaatimat edellytykset. VTT:n mukaan kaasun hyödyntämisen lisäämisellä eri kohteissa on potentiaalia edistää myös biokaasun käyttöä, mutta kokonaisratkaisuna globaali biomassan kestävä saatavuus ei ole riittävä kattamaan koko energiantarvetta.

7.5.6 Liuskekaasutoiminnoissa olevat yritykset Kemira ja Wärtsilä

Vesikemikaaliyritys Kemira on vahva polymeeritoimittaja liuskekaasutoiminta-alueella. Kemira on toistaiseksi suomalaisista yrityksistä ainoa, joka työskentelee suoraan liuskekaasutuotannossa. Kemiran Yhdysvaltojen yksiköt ovat toimineet öljy- ja kaasualalla pitkään, joten liuskekaasutuotannon yleistyessä oli luonnollinen siirtymä laajentaa toimintoja koskemaan liuskekaasua. Kemiran Atlantassa sijaitseva tutkimuskeskus on keskittynyt

vevisärötyksessä käytettävien kemikaalien tutkimukseen ja kehitykseen. Liuskekaasutuotanto on tunnustettu avainteknologia-alueeksi Kemiralla ja sen laajenemista seurataan aktiivisesti. Tilanne on tällä hetkellä jatkuvassa muutoksessa ja Kemiralla kehitys tapahtuu sen mukana. Kemiran tuotteet liuskekaasuliiketoiminta-alueella ovat polymeeripohjainen kitkanvähennyskemikaali, joka pienentää särötykseen kuluvan energian määrää sekä biosidi, jolla estetään mikrobien kasvua tuotannossa. Biosidi-puolella Kemiralla ei oikeastaan ole kilpailijoita, ja heidän tuotteella saavutetaan synergiaetua kitkanpoistokemikaalien kanssa. Kemikaalitoimittajat ovat Kemiran asiakkaita, jotka myyvät heidän tuotteensa eteenpäin porausyrityksille. Tuotekehitysprojekteja suoritetaan sekä itsenäisesti että yhdessä porausyrityksien kanssa. Lisäksi Kemira on kehittänyt omia laboratoriokoon tutkimuslaitteita.

Kemiran rooli on toimittaa luotettavia kemikaaleja tuotantoon. Tuotteet ovat biohajoavia ja jäljitettävissä, joten pystytään tarvittaessa selvittämään mitä käytetyille särötyskemikaaleille tapahtuu. Vesimäärät ovat isoja, joten veden kierrätettävyys on myös tärkeä tekijä kemikaaliratkaisuissa. Kemira kommentoi liiketoiminta-alueella toimittaessa olennaiseksi ympäristövaikutuksiin liittyvät huolenaiheet. Tuotannon ympärillä on paljon olettamuksia ja kauhuskenaarioita, joten avoimuus on tärkeää toiminnoissa. Yhdysvaltojen liuskekaasutuotannossa on esiintynyt ongelmia prosessin hallinnassa. Markkinoille tulee jatkuvasti parempia ratkaisuja ja trendi on siirtyä kohti ympäristöystävällisempää tuotantoa. Ympäristövaikutusten minimointi kuitenkin lisää tuotantokustannuksia ja lopulta kyse on siitä, miten paljon asiakas on valmis maksamaan tuotteestaan. Kemikaalien ei välttämättä tarvitse olla kalliimpia, vaan tarvitaan hyviä ideoita ja synergiaetuja. Kemira kokee muuttuvat toimintaolosuhteet, kuten ympäristövaatimukset haasteeksi liuskekaasutoimintaan liittyen.

Toinen suomalainen yritys, jolla on liuskekaasutoimialueeseen liittyvää toimintaa, on kaasun käyttöpuolelta Wärtsilä. Se on jo kohdentanut toimintojaan Pohjois-Amerikkaan, jossa kaasuun liittyvät investoinnit ovat kasvattaneet liiketoimintaa suuresti. Maailmanlaajuisesti, sekä laivaliikenteen, että energiantuotannon kaasumoottoreista noin puolet on Wärtsilän rakentamia. Laivaliikenteen kaasumoottoreiden valmistus tulee lähivuosina kasvamaan merkittävästi, johtuen laivaliikenteen päästöjä rajoittavasta IMO-lainsäädännöstä. Sen sijaan maapuolella kivihiiilen käytön lisääntyminen on ollut nouseva trendi. Pienen mittakaavan LNG-laitoksilla on suuri kysyntä, sillä ne soveltuvat hyvin liuskekaasutuotannon konventionaalista tuotantoa pienempiin kaasuntuotantomääriin. Öljy- ja kaasuteollisuuteen tarkoitettua Gas reformeria käytetään tuotannon sivutuotteena saatavan kaasun hyödyntämiseen. Suurin osa tuotantoon soveltumattomasta kaasuvirrasta, joko poltetaan soihdussa tai ilmataan, mistä johtuen se soveltuu myös liuskekaasutuotantoon. Reformoija

leikkaa raskaista hiilivedyistä metaanin, minkä jälkeen se voidaan hyödyntää polttomootoreissa tuotannossa käytettävän sähkön tuotantoon tai syöttää suoraan kaasuverkkoon. Tällä saadaan pienennettyä tuotannon hukkaenergian määrää ja ympäristöjalanjälkeä. Wärtsilällä on portfolioissa myös LNG-uudelleenkaasutuslaitokset ja niiden vesienpuhdistuslaitteisto, jotka myös hyötyvät kasvaneesta kaasunkäytöstä. Satamassa sijaitseva vastaanottajalaiva uudelleenkaasuttaa tuonti-LNG:n kaasuverkkoon, jolloin kiinteää maalla sijaitsevaa laitosta ei tarvita.

7.5.7 Liiketoimintamahdollisuudet

TEM tunnistaa liuskekaasutoimialalla suurimmiksi liiketoimintamahdollisuuksiksi Suomen osaamisen kaasu- ja öljyteollisuudessa, vahvan geologisen puolen osaamisen sekä puhtaat prosessi- ja kaivostekniikat. Toisin sanoen Suomella olisi vahvaa osaamista tehdä liuskekaasutuotannosta kestävämpää. Etlan näkemyksestä suomalaisten yritysten parhaat liiketoimintamahdollisuudet löytyisivät myös kaivannaisteollisuuden ja niihin liittyvien laitetoimittajien osajien puolelta. Lisäksi kaasun hyödyntämispuolen laitetoimittajien, kaasua hyödyntävän laivateollisuuden ja teollisuuden laitetoimitusyritysten, nähdään hyötyvän Yhdysvaltojen kasvaneesta taloudesta ja teollisuuden investoinneista. Foster Wheelerin tuoteportfolioissa on myös erilaisia kaasulle soveltuvia tuotteita ja liiketoimintoihin ollaan valmiina, kaasuun liittyvien investointien kasvaessa. Wärtsilä on jo kohdentanut toimintonsa Pohjois-Amerikkaan, jossa kaasuun liittyvät investoinnit ovat kasvattaneet liiketoimintaa suuresti. Kemiralla liuskekaasu on tunnistettu avainteknologia-alueeksi Pohjois-Amerikassa. TEM ja Fortum molemmat tunnistavat Suomen biokaasuosaaamisen liiketoimintamahdollisuudeksi kaasunkäytön yleistyessä maailmalla ja haluttaessa lisätä palettiin uusiutuvia. Outotecilla katsotaan jatkuvasti uusia mahdollisuuksia, kuitenkin tällä hetkellä liuskekaasua ei ole nähty riittävän kiinnostavaksi toiminnanlaajentamissuunnaksi. Kaikille toimialoille ei ole välttämättä kykyä laajentaa portfolioa samanaikaisesti, vaan on paljon resurssikysymys, missä järjestyksessä on mahdollista lähteä mukaan eri toimialoille. Outotecillä voisi hypoteettisesti olla liiketoimintaa vedenpuhdistuspuolella. Tämä kuitenkin vaatii lisäselvityksiä, osaamistarpeen kartoitusta ja analysointia. Ympäristövaikutuksiltaan kyseenalaisen liuskekaasutuotannon kanssa toimiminen saattaisi olla imagovaiikutuksiltaan negatiivinen.

Kemiralla nähdään, että Suomen pitäisi olla valveutuneempi liuskekaasun tuomien mahdollisuuksien suhteen ja lähteä panostamaan siihen nopeasti. Kemiran suunnitelmissa on ehdottomasti olla mukana toiminnoissa liuskekaasutuotannon alkaessa levitä Eurooppaan. Etlankin näkemyksestä suomalaisten toimijoiden pitäisi olla herkkänä markkinoilla.

Suurin osa toimijoista tällä hetkellä odottaa, mitkä ovat muutosten seuraukset, kun nyt pitäisi pikemminkin tarttua liiketoimintamahdollisuuksiin.

TUTKIMUSTULOSTEN KÄSITTELY JA JOHTOPÄÄTÖKSET

8. ENNAKOINTI: LAAJAN KAASUTULEVAISUUDEN SKENAARIOT

Liuskekaasun hyödyntämisen haasteet ja mahdollisuudet liittyvät neljään vallitsevaan energiamegatrendiin:

- 1) Ilmastonmuutos ja fossiilisten polttoaineiden väheneminen
- 2) Ilmanlaadun parantaminen
- 3) Omavaraisuuden kasvattaminen ja öljyriippuvuuden vähentäminen
- 4) Hajautettu energiantuotanto

Kaasulla on potentiaalia hillitä ilmastonmuutosta sen korvatesa kivihiilen ja öljyn käyttöä. Käyttäessä maakaasua kivihiilen sijaan, laskevat hiilidioksidipäästöt yli puoleen ja öljyllä noin 40 %. Siirtymällä maakaasuun saadaan vähennettyä myös pienhiukkaspäästöjä, rikkidioksidipäästöjä ja typenoksidipäästöjä, jolloin ilmanlaatu paranee. Liuskekaasu on tuonut suuren määrän uutta fossiilista polttoainetta markkinoille mikä, vastoin odotuksia, on toistaiseksi pitänyt kaasun hinnan kohtuullisena ja oletettavasti vielä laskee sitä nykyisestä. Liuskekaasuvarannot ovat levittäytyneet laajasti ja ne mahdollistavat uusien maiden energiatuotannon aloittamisen ja siten niiden omavaraisuusasteen kasvattamisen. Korvaamalla kaasulla öljyä, saadaan myös riippuvuus suurista öljyntuontimaista vähentymään. Kaasun hyödyntäminen ja käyttömahdollisuudet LNG-muodossa ovat lupaava vaihtoehto tukemaan hajautettua uusiutuvan energian tuotantoa.

Tässä kappaleessa on ennakoitu liuskekaasutuotannon tulevaisuuden suuntia sekä niiden vaikutuksia globaaliin energia toiminta-alueeseen kolmen skenaariotarkastelun kautta. Skenaarioissa on käsitelty yksittäisen vaiheen tarjoamia liiketoimintamahdollisuuksia suomalaisille yrityksille. Tarkastelun kohteina ovat: Suomen kasvaneet LNG-muotoisen kaasun käyttömahdollisuudet, muiden maiden liuskekaasutuotannon käynnistyminen ja kaasuinfratruktuurin laajentumisen myötä uusiutuvia energiamuotoja hyödyntävän metaanitalouden aikakausi. Ilmastonmuutoksen hillitseminen on merkittävin yksittäinen tulevaisuuden kehityssuunta. Tästä johtuen skenaariotarkastelu on rakennettu siirtymään kustannustehokkaasti kohti vähempihiilisempää energiantuotantoa ja –kulutusta sekä uusiutuvia energiamuotoja.

8.1 Skenaario A) Suomessa LNG kasvattaa maakaasun käyttömahdollisuuksia, lisäputkistoa ei rakenneta

Ensimmäisessä skenaariotarkastelussa käsitellään lähitulevaisuuden todennäköistä vaihtoehtoa, jossa on alkuoletuksena tilanne, että Suomeen alkaa tulla lisää kaasua LNG-toimitusten muodossa, mutta varsinaista putki-infrastruktuuria ei laajenneta. Tämä vastaa Gasumin tulevaisuuden näkymiä, sillä heillä ei ole tällä hetkellä suunnitelmassa panostaa putkiston laajentamiseen. LNG:n avaa itsessään kaasunkäyttömahdollisuuksia putkiston ulkopuolelle. Tässä vaiheessa liiketoimintamahdollisuudet muodostuvat LNG-järjestelmien muodostamisesta kaikille käyttöalueille sekä biokaasun ja biometaanin tuotannon lisääntymisen myötä suomalaisesta biotalouden osaamisesta.

Liuskekaasun myötä hyödykettä on enemmän saatavilla ja kaasun globaali markkinahinta tulee laskemaan nykyisestä. Kun Suomeen saadaan uusia maakaasun toimitusverkostoja LNG:n muodossa, voidaan olettaa maakaasun hinnan täälläkin laskevan. Hinnan lasku aiheutuu tuontimarkkinoille tulevasta kilpailusta, saataessa useampia kaasuntoimittajia nykyisen yhden sijaan. Hinnan lasku voi myös aiheutua venäläisen kaasun tuontihintojen laskemisesta, kun Venäjä haluaa pitää kiinni markkina-alueestaan. Maakaasun hinnan lasku tulee lisäämään sen kilpailukykyä ja houkuttavuutta, mistä johtuen kaasun käytön oletetaan lisääntyvän.

Tarkasteltaessa teollisuudessa tai voimalaitoksissa käytettävän polttoaineen valintaa, merkittävin yksittäinen tekijä on polttoaineen hinta. Jos pystytään takaamaan kilpailukykyinen polttoaineen saatavuus ja hinta, tulee kaasun kulutus kasvamaan. Verrattaessa kaasun valintaa polttoaineeksi edullisemmän kivihiilen käyttöön, esimerkiksi päästökaukalla tai hiiliverotuksella pystytään parantamaan maakaasun houkuttelevuutta teollisuudelle ja voimalaitoksille. Voimalaitosten hiilidioksidipäästörajoitukset ovat Yhdysvalloissa johtaneet siihen, että maakaasu on korvannut kivihiilen käyttöä. Lisäksi voimalaitosten pienhiukkaspäästörajoitukset lisäävät kaasuun siirtymisen houkuttelevuutta, mutta ne samalla rajoittaisivat puunpoltoa energiantuotannossa, ellei puuta kaasuteta ja kaasua puhdisteta ennen polttoa.

Maakaasun käyttöä polttoaineena pystytään edistämään keventämällä kaasuun liittyvää verotusta, joka on tällä hetkellä Suomessa portaittaisessa nousussa. Vuonna 2014 osa olemassa olevista kaasuvoimalaitoksista on ollut vajaakäytössä, johtuen kaasun korkeasta hinnasta. Verojen osuus polttoaineen hinnasta Suomessa on noin 50 - 60 %, mistä johtuen niillä pystytään ohjailemaan kulutusta merkittävästi. Liikenteen puolella bensiinin ja

dieselin korvaamiseksi maakaasu on jo hintansa puolesta houkutteleva vaihtoehto, kaasun korkeammasta verotuksesta huolimatta. Teollisuuden puolella maakaasu tulee ensimmäisenä korvaamaan juuri öljypohjaisia polttoaineita. Kivihiilen korvaaminen tapahtuu sen käytön kallistuessa esimerkiksi päästöoikeuksien hintojen nousun myötä.

LNG tulee Suomessa ensimmäisenä laaja-alaisesti meriliikenteen käyttöön. Meriliikenteen puolella vuonna 2015 voimaantuleva IMO:n rikkidioksidipäästöjä rajoittava direktiivi ohjaa laivaliikennettä käyttämään maakaasua polttoaineena kasvavissa määrin. Satamiin voidaan rakentaa laivojen tankkausasemia LNG:n varaan. Direktiivi tulee voimaan Itämerellä ennen muita merialueita, joten toimivien satama- ja tankkausratkaisujen optimiaikainen luominen kasvattaa Suomen kilpailukykyä. Meriliikenteen LNG:n käytön lisääntymisen myötä pystytään kasvattamaan kaasun käyttöä satamien yhteydessä. Myös arktisten merialueiden kuljetukset kasvavat.

Nesteytettynä kaasun käyttömahdollisuudet Suomessa kasvavat Etelä-Suomen kattavan putkiston ulkopuolelle. Ensimmäisenä satamien läheisyydessä sijaitsevat yksittäiset suuret kulutuskohteet, kuten teollisuus ja voimalaitokset, rakentavat LNG-toimitusketjuja ja siirtyvät kaasun käyttöön. Satamista kauempana sijaitseviin teollisuuslaitoksiin LNG toimitetaan säiliökuljetuksina, joko rekoilla tai junilla, jolloin putki-infrastruktuureja ei tarvitse rakentaa. Teollisuusklusterit voivat investoida yhteen LNG:n uudelleenkaasutuslaitokseen, josta kaikki alueen tuotantolaitokset saavat kaasun. Teollisuus on tällä hetkellä voimakkaasti mukana LNG-hankkeissa, kuten Tornion terästehtaan LNG-laitoksen rakentamissuunnitelmissa. Mahdollisuutena on myös maakaasuputkilinjan rakentaminen Norjasta Pohjois-Suomeen, joka lisää houkuttavuuttaan kaasunkäytön lisääntyessä. Molempia reittejä nähdään kaasun myötä pohjoisen kaivosteollisuuden laajentuvan ja muutakin teollisuutta syntyvän alueelle.

Liikenteen puolella kattava tankkausinfrastruktuuri kasvattaa niin raskaiden ajoneuvojen kuin yksityisautoilijoidenkin kaasun käyttöä polttoaineena. LNG:n myötä tankkausasemille ei tarvitse rakentaa putki-infrastruktuuria kaasutoimituksia varten, vaan ne voidaan tehdä LNG-säiliöajoneuvoilla. Liikenteessä nähdään ensimmäisinä LNG-käyttäjinä pääsääntöisesti vakioreitillä liikennöivät raskaan liikenteen ajoneuvot. Niille pystytään määrittämään tankkausasemien sijainti ja rakentamaan riittävä liikennettä tukeva asemien määrä nopeammin kuin yksityisautoille. Raskaan liikenteen ajoneuvot kulkevat usein satamista, jolloin autojen tankkausta tukevat myös LNG-satamat. Yksittäisen henkilöauton konversio on teknisesti ja taloudellisesti toteutettavissa olevaa. Kuitenkin laaja-alainen yksityisautojen moottorien konversio kaasulla toimiviksi vaatii pidemmän aikajänteen ja yksityishenkilöi-

den osallistumisen. Riittävän tankkausinfrastruktuurin rakennuttua ja kaasun ollessa jo nyt muita polttoaineita edullisempi vaihtoehto, tämä tulee olemaan taloudellisista syistä houkuttelevaa.

Kotitalouksien kaasunkäyttömahdollisuudet laajenevat Etelä-Suomen ulkopuolelle kaupunkien ja asuinalueiden sisäisten LNG-pohjaisten kaasunjakeluverkostojen rakentamisen myötä. Verkostojen LNG-asemat voivat toimia tukien liikenteen tankkausasemia.

Suunnitelmallisen kaasunkäytön lisäyksen yhteydessä on ilmastonmuutostavoitteiden saavuttamiseksi ja hyväksyttävyyden lisäämiseksi olennaista lisätä biokaasun ja biometaanin tuotantoa ja osuutta käytetystä kaasusta. Tämä kasvattaa suomalaisen biotalouden mahdollisuuksia sekä lisää uusiutuvan ja kotimaisen energian osuutta käytetyistä primäärienergian lähteistä. LNG:n myötä kaasun käyttöinfrastruktuurin lisääntyessä myös biokaasun ja -metaanin hyödyntämismahdollisuudet kasvavat. Biokaasun talteenotto ja hyödyntäminen luonnollisesti syntyvistä lähteistä lisää houkuttavuuttaan kaasun hyödyntämismahdollisuuksien kasvaessa. Esimerkiksi kaatopaikoilla syntyvän metaanin talteenotto on veloitettua, mutta hyödyntäminen rajallista ja maataloudessa syntyvän metaanin talteenottoa ei pidetä kannattavana. Molempiin on syynä hyödyntämismahdollisuuksien vähäisyys. Samoin mädättämällä tapahtuva kaasuntuotanto elintarvike- ja metsäteollisuuden sivuvirroista ja yhdyskuntien jäteveden puhdistamoilta lisää kannattavuuttaan. Näissä orgaanisista korkean nestepitoisuuden sivu- ja jätevirroista saadaan mädättämällä biokaasua, jota voidaan syöttää samaan verkkoon ja laitteistoihin kuin maakaasua. Kaasun mahdollisuuksien kasvaessa myös biometaanin tuotanto puuperäisestä biomassasta bio-SNG-laitoksissa tulee kasvattamaan kiinnostavuuttaan. Bio-SNG energiavaihtoehtona vaatii toistaiseksi energianhintojen voimakkaan nousun, toimivan päästökaupan, bio-SNG:tä tukevia syöttötariffeja tai laitosten investointitukia tullakseen kannattavaksi. Ensimmäiseksi bio-SNG:n käytön voidaan olettaa lisääntyvän liikenteen polttoaineena, jossa biometaanilla pystytään korvaamaan kustannustehokkaasti kalliita öljypohjaisia polttoaineita. LNG mahdollistaa myös biokaasun ja -metaanin käytön lisäämisen putkiston ulkopuolella, sillä se toimii tukikaasulähteenä tuotannon häiriötilanteissa. Tämä mahdollistaa biokaasun hyödyntämisen pienemmän mittakoon käyttökohteissa, kuten autojen tankkausasemilla. Myöhemmässä vaiheessa, nesteytyslaitosteknologian tullessa edullisemmaksi, myös biokaasun nesteytysmahdollisuudet laajentavat sen käyttöä. Uusiutuvien kaasujen laaja-alainen käyttöönotto olisi Suomelle merkittävä askel kohti energiaomavaraisuuden kasvattamista. Bio-SNG-tuotantoon ja mädätyslaitoksiin investoiminen tänä päivänä, takaisi uusiutuvan kotimaisen bioperäisen energian kestävän saannin, sillä menetelmissä hyödynnetään pääosin jätevirtoja ja Suomen biomassavarannot ovat mittavia.

Tällä hetkellä maakaasun käytön lisääntymisen esteenä on halvan kivihiilen kasvava käyttö, joka on vapautunut Yhdysvalloilta vientiin liuskekaasutuotannon alettua. Kivihiilen käyttö on lisääntynyt Suomessa ja Euroopassa vastoin kaikkia ilmastositoumuksia, johtuen alhaisista päästöoikeuksien hinnoista. Vaikka maakaasukin on fossiilinen polttoaine sen käyttöön siirtyminen, kivihiltä ja öljyä korvatessaan, laskisi merkittävästi kasvihuonekaasupäästöjä. Nousevan kaasuverotuksen sijaan Suomessa pitäisi pyrkiä poistamaan kivihiltä energiapaletista esimerkiksi verotuksellisin toimenpitein ja investoida kestävään bioenergian tuotantoon. Suomesta voitaisiin tehdä ensimmäinen kivihiiletön yhteiskunta. Kaasun käytön lisäämisen siirrosvaiheessa tulee pitää rinnalla suunnitelmallista uusiutuvan kaasun tuotannon lisäämistä. Kotimaisen bioenergian tuotannon kasvattaminen vähentäisi ulkomaisen energian ostotarvetta. Biokaasun tuotannon kannattavuus kasvaa koko ajan ja se on liikenteen puolella osoittautunut jo bensiiniä ja dieseliä kannattavammaksi vaihtoehdoksi. Polttamisen sijaan puupohjaisen biomassan osa, joka soveltuu heikommin käytettäväksi teollisuuden raaka-aineeksi, kuten metsähake, kannattaisi jalostaa kaasumaiseen energiakäyttöön.

LNG-taloudessa voidaan tukea sekä uusia kaasuun pohjautuvia energijärjestelmiä että biokaasun ja biometaanin käyttöä. Merkittävänä liiketoimintamahdollisuutena olisivat uudet järjestelmät, joissa LNG on rakennettu tukemaan meriliikenteen ja autojen tankkausta sekä yksityishenkilöiden ja tuotantolaitoksien kaasunsaantia. Myöhemmässä vaiheessa systeemiin linkitettäisiin biokaasua ja metaania, joko tuotettuna paikallisilla tuotantolaitoksilla tai toimitettuna nesteytettynä bio-LNG:nä. Pilottoimalla uusia energijärjestelmiä, joissa tuetaan LNG:llä biokaasua ja biometaania, pystytään luomaan valmiuksia hyödyntää suomalaista bioteollisuuden osaamista ja rakentaa uusia energiaketjuja ilman merkittävää putkiston laajentamista ja hyödyntämällä kustannustehokkaasti olemassa olevia järjestelmiä. Näin mahdollistetaan hajautettu energiantuotanto pienikokoisilla bio-SNG-laitoksilla teollisuuden ja kotitalouksien kaasunkäyttöön.

Ensimmäisinä askeleina voidaan nähdä uusiutuvan kaasun lisääminen liikennekäyttöön, mitä kautta sen kannattavuus muillakin osa-alueilla kasvaisi. Tukemalla kaasuautojen konversiota ja kaasutankkausinfrastruktuurin rakentamista, pystytään edistämään ilmastomuutostavoitteisiin pääsemistä. Korvatessa Suomessa käytetyistä öljypohjaisista polttoaineista puolet maakaasulla saadaan liikenteen kasvihuonekaasupäästöt laskemaan noin 11 % ja maakaasun korvatessa kaikki saadaan noin 22 % päästövähennykset. Biokaasun kasvihuonekaasupäästöjä ei huomioida päästökaupassa, joten siirtymällä kaasuautojen kautta suuremmissa määrin biokaasua hyödyntäviin autoihin päästään nykyas-

kennalla nollapäästöihin. On selvää, että maailmalla ollaan lisäämässä kaasun osuutta primäärienergian lähteenä. Suomalainen bio-osaaminen yhdistettynä LNG-järjestelmiin tarjoaa mahdollisuuden pysyvään edelläkävijäasemaan, kun muissa maissa aletaan tarkastella uusiutuvan kaasun merkittävää lisäämistä energiajärjestelmään.

8.2 Skenaario B) Liuskekaasusta tulee globaali hyödyke

Toisessa skenaariotarkastelussa liuskekaasusta tulee globaali hyödyke ja käsitellään maita, jotka seuraavaksi aloittavat liuskekaasutuotannon. Tuotantomenetelmien kehittyessä saadaan tuotannon kustannuksia laskemaan. Lisäksi kaasun alueelliset hyödyntämismahdollisuudet ja -tarpeet kasvavat merkittävästi, kun kaasua on saatavilla enemmän. Tässä vaiheessa liiketoimintamahdollisuudet muodostuvat liuskekaasun tuotantoteknologioiden hallitsemisesta ja tehokkaista kaasunhyödyntämismenetelmistä sekä -järjestelmistä, joita on käsitelty A-skenaariossa Suomen kannalta. Uusien alueiden liuskekaasutuotannon vaatimukset ja haasteet vaihtelevat maittain, mutta paljon uusia liiketoimintamahdollisuuksia nähdään myös nykyisen tuotannon alueella Yhdysvalloissa.

Kiina on oletettavasti ensimmäisiä maita, jotka Yhdysvaltojen jälkeen käynnistävät liuskekaasuvaihtojensa hyödyntämisen. Vaikka esiintymät ovat haasteellisia ja teknologia sekä infrastruktuuri puuttuvat, kaasuntuotanto on vastaus Kiinan suuriin pyrkimyksiin ja haasteisiin eli talouden kasvattamiseen, kotimaisen energian osuuden lisäämiseen sekä ilmanlaadun parantamiseen. Voimakkaasti keskitetty valtionhallinto helpottaa siten, että toimintapäätökset pystytään tekemään nopealla tahdilla, jolloin esimerkiksi infrastruktuurin puute voidaan korjata ”yön yli”. Vaikka Kiinan liuskekaasuesiintymät ovat maailman mittavimmat, on oletettavaa että he eivät käynnistä vientiä, vaan käyttävät kaiken poraamansa kaasun talouskasvunsa edistämiseksi. Kiinassa on jo tehty investointeja kivihiilivoimalaitosten muuttamiseksi maakaasulle Pekingin ilmanlaadun parantamiseksi. Tavoitteena on korvata kaasulla kivihiiltä erityisesti kaupungeissa. Liuskekaasuesiintymien hyödyntämisellä pystytään takaamaan kaasunsaanti pitkäksi ajaksi. Siirtymällä kaasunkäyttöön, Kiinalla on potentiaalia merkittäviin kasvihuonekaasupäästövähennyksiin ja Kiinassa on jo aloitettu päästökaupan pilotointihankkeita. Kuitenkin Kiinan kivihiilivarannot ovat myös mittavat ja jatkuvasta energiankulutuksen kasvusta johtuen niitäkin tullaan kasvavissa määrin hyödyntämään.

Kiinan liuskekaasuesiintymien hyödyntämiseksi tarvittuun teknologian hallitsemiseen on oletettu kestävän muutamia vuosia. Kiinassa tullaan oletettavasti noudattamaan samoja hyödyntämismenetelmiä, mitkä ovat Yhdysvalloissa käytössä. Tästä johtuen tuotannon kehityskohteiden pohjana ovat nykyisin käytössä olevat tekniikat. Ympäristölainsäädäntö ei tule rajoittamaan tuotantoa, mutta rajallinen vedensaanti on haasteena. Tästä johtuen vesienhallintateknologiat sekä jätevesien puhdistus ja kierrätys uudelleenkäyttöön ovat kiinnostavia investointikohteita Kiinalle tuotannon alusta lähtien. Veden kulutusmäärään ja

kierrätettävyyteen pystytään vaikuttamaan myös särötyskemikaalien valinnalla, mistä suomalaisilla yrityksillä on jo vahvaa osaamista. Kiinassa arvostetaan suomalaista ympäristöteknologiaosaamista ja puhtaisiin vesiteknologioihin liittyen on merkittäviä liiketoimintamahdollisuuksia.

Euroopan maiden liuskekaasuvarannot ovat suhteellisen pienet ja niiden hyödyntämiseen on suhtauduttu kielteisesti johtuen potentiaalisista ympäristöhaitoista. Tuotannosta riittää yksittäisen Euroopan maan oman kulutuksen kattamiseen vuosikymmeniksi, ja vienti tuotannon alkuvaiheessa tapahtuu korkeintaan putkitoimituksilla naapurimaihin. Tuotannon alkamisen vaikutuksena tapahtuu kaasuuhinnan lasku, mitä myötä kaasunkulutus kaikissa Euroopan maissa kasvaa. Keski-Euroopan, jossa merkittävimmät Euroopan liuskekaasuvarannot sijaitsevat, putki-infrastruktuuri on kattava, jolloin merkittäviä lisäinvestointeja ei tarvittaisi. LNG:n yleistyessä ja usean toimittajan tullessa markkinoille saattavat hinnat kuitenkin laskea niin paljon, ettei useampien Euroopan maiden kannata vielä pitkään aikaan lähteä kehittämään omaa liuskekaasutuotantoaan. Suurena motivaationa tuotannon aloittamiseen on ollut päästä eroon Venäjä-riippuvuudesta ja EU on kannustanut jäsenmaitaan aloittamaan tuotantoa lupaavissa esiintymissä. Yleinen näkemys niin Yhdysvalloissa kuin Euroopassakin on ollut, että kestää noin vuosikymmenen tai kaksi ennen Euroopan liuskekaasutuotannon alkamista. Ukrainan kriisin myötä epävarmuus Venäjän kaasuntoimituksista on kuitenkin kasvanut niin merkittäväksi, että poliittinen paine ajaa EU:ta nopeammalla aikataululla hyödyntämään omia esiintymiään. Tästä johtuen nähdään, että tuotannon aloittaminen on paljon lähempänä kuin aiemmin oletettiin. Uusien kaasuntoimittajien tullessa markkinoille, joko LNG:n tai yksittäisten Euroopan maiden tuotannon alkaessa, ei tarvitse enää olla huolissaan Venäjän pakotteista sulkea Keski-Eurooppaan johtava kaasuputki tai nostaa kaasutoimitusten hintoja. Liuskekaasutuotannolla on myös suuri merkitys talouskasvun ja työpaikkojen luomisessa, minkä merkitys on suuri erityisesti maissa, jotka eivät ole nousseet talouslamasta.

Euroopan maista Puola ja Iso-Britannia ovat ensimmäisiä, jotka aloittavat liuskekaasutuotantonsa. Euroopan suurimmat varannot ovat Puolassa, jossa valmistelut ja koeporaukset ovat pitkällä ja esiintymät lupaavia. Puolan onnistuessa tuottaa taloudellisesti kannattavaa liuskekaasua, nähdään toiminnan alkavan muissakin Euroopan maissa, ellei merkittäviä ympäristöhaasteita esiinny. Iso-Britannia puolestaan on ajautumassa nopeasti energiapuulaan, mikä motivoi kotimaisen liuskekaasutuotannon aloittamiseen. Iso-Britannia on myös yritysten näkemyksestä toimintaympäristönä suotuisa tuotannon aloittamiseen, johtuen muun muassa tasapainoisesta hallinnosta. Kuitenkin kansalaiset vastustavat liuskekaasun tuotannon käynnistymistä. Oletus on lisäksi, että Ranska, jossa sijaitsevat Euroopan toi-

siksi suurimmat esiintymät, tulee osittain purkamaan hyödyntämiskieltonsa, jolloin se jäisi koskemaan vain herkimpiä alueita. Ranskan esiintymät ovat niin merkittäviä, ettei heillä ole varaa olla hyödyntämättä niitä.

Euroopassa ympäristövaatimukset tulevat olemaan tiukat heti tuotannon alkamisesta lähtien, joten puhtaisiin prosessiteknologioihin tullaan panostamaan. Tiukka toimintaympäristö johtuu niin EU:n säädöksistä kuin kansalaisten vaatimuksistakin. Esimerkiksi jätevesien vaadittu puhtausaste tulee olemaan korkea. Tämä tulee olemaan myös etu Yhdysvaltojen tiukentaessa tuotannon ympäristövaatimuksia, sillä puhtaat teknologiat ovat silloin liiketoimintamahdollisuus Yhdysvaltojenkin suuntaan. Säädökset ovat jatkuvasti tiukentumassa, mikä kasvattaa investointeja muun muassa jätevesienpuhdistukseen.

Afrikan maista Algeriassa ja Etelä-Afrikassa on mittavat varannot, mutta maiden oma kaasunkulutus on vähäistä. Kyseisillä mailla on varantojensa puolesta potentiaalia käynnistää LNG-vienti. Haasteina ovat LNG-vientilaitosten vaatimat suuret investoinnit ja monimutkaisen teknologian hallinta. Afrikassa ympäristövaatimukset ovat pienempiä kuin Euroopassa, mutta siellä toimivien yritysten täytyy huolehtia vastuullisuudesta tuotannossa. Lisäksi vedensaanti alueittain on rajallista, mistä johtuen erityisesti veden kulutuksen vähentäminen ja käytetyn veden kierrättäminen kasvattavat merkitystään.

Venäjän konventionaaliset maakaasuvarannot ovat niin mittavat, ettei Venäjän tarvitse vielä moneen vuosikymmeneen hyödyntää liuskekaasuvarantojaan.

Yhdysvaltojen tuotannosta on tunnistettavissa useita kehityskohteita, jotka yhdysvaltalaiset toimijat näkevät olennaisiksi. Tämä pitää sisällään perusteellisemmän jätevesienpuhdistuksen, puhtaat kaivostekniikat ja soihdussa poltettavan hukkakaasun hyödyntämisen. Yleisesti ympäristövaikutuksiin tullaan kiinnittämään paljon nykyistä enemmän huomiota. Kuitenkin potentiaalisiksi tunnistetut suomalaiset yritykset kommentoivat näkevänsä liuskekaasutuotannon liiketoimintamahdollisuudeksi vasta tuotannon laajennettua Eurooppaan. Kiinan aloittaessa liuskekaasutuotannon prosessivesiin liittyvät mahdollisuudet tulevat kuitenkin ajankohtaisiksi jo aiemmin. Seuraavassa on käsitelty tuotantovaiheittain kohteet, joihin suomalainen teknologiaosaaminen voisi keskittyä:

Pohjatutkimus: Suomalainen geologinen osaaminen on hyödyksi maaperän ominaisuuksien kartoittamisessa. Maaperän laatu on olennaista tunnistaa myös prosessikemikaalien ja jäteveden puhdistusmenetelmän valinnassa. Esiintymien alla sijaitsevien siirrosten tunnistaminen on erityisen tärkeää tarkasteltaessa tuotannon vesien virtauksia porauskaivon

ulkopuolelle. Lisäksi siirrokset lisäävät maanjäristysriskiä, mitä todennäköisesti pidetään tärkeänä tarkastella erityisesti asutusten läheisyydessä tapahtuvalle tuotannolle.

Tuotantokaivojen poraus: Kaivojen porauksessa voidaan hyödyntää suomalaisten porausyritysten laitteita. Suomalaiset voivat toimittaa tuotantokaivon pinnoittamiseen tarvittavaa laadukasta sementtiä ja teräskehikkoa, jotka ovat olennaisia tuotannon ympäristövaikutusten poistamiseksi tai pienentämiseksi. Kaivon pinnoittaminen on tunnistettu merkittävimmäksi yksittäiseksi ympäristövaikutusten minimoimismenetelmäksi, joka on veloitettu kaikkialla Yhdysvalloissa. Älykkäillä materiaalivalinnoilla kaivon pinnoittamisessa saadaan pienennetyksi kustannuksia ja ympäristön pilaantumiseriskiä.

Soihutukaasun hyödyntäminen: Yhdysvalloissa ilmataan tai poltetaan tällä hetkellä merkittävä osa liuskekaasutuotannon alkuvaiheessa saatavasta kaasusta. Kustannuksia säästäväksi mahdollisuudeksi on tunnistettu kaasun hyödyntäminen polttomoottorikäyttöisissä sähkögeneraattoreissa tuottamaan sähköä esimerkiksi tuotannossa tarvittavia pumppuja varten. Tällöin saadaan samalla pienennetyksi tuotannon energiankulutusta ja vähennettyä kustannuksia. Liikuteltava pienenkoluokan sähkögeneraattori pystyttäisiin siirtämään tuotantokaivosta seuraavaan kaivoon.

Kaasuvuodot: Tuotannon ja kuljetusten kaasuvuodot ovat tällä hetkellä määrittämättä, mutta niiden on oletettu olevan merkittäviä. Kaasuvuododetektoreilla pystyttäisiin havaitsemaan esimerkiksi putkistojen vuodot ja paikata ne kaasuhävikin minimoimiseksi. Monitorointi vähentäisi tuotannon ja kuljetusten hajapäästöjä ja vähentäisi hukka kaasun määrää. Tämä on sekä tuotannon että kuluttavan osapuolen mielenkiinnossa. Ympäristövaikutusten kannalta on muistettava, että metaanin kasvihuonekaasuvaikutus on noin 21-kertainen hiilidioksidiin verrattuna, mistä johtuen hajapäästöjen määrä on minimoitava.

Vesienhallinta ja jäteveden puhdistus: Vesienhallinnan puolelta älykkäillä vettä säästävillä järjestelmillä saadaan vähennettyä vesi-intensiivisen liuskekaasuteollisuuden veden kuluusta. Tämä on prioriteettina tuotannon alusta alkaen erityisesti kuivilla alueilla, kuten Kiinassa, Etelä-Afrikassa ja Algeriassa. Jätevesien puhdistuksen vaatimukset tiukentuvat jatkuvasti myös Yhdysvalloissa ja yritykset joutuvat investoimaan jäteveden puhdistukseen, osittain jälkikäteen. Suomalaista osaamista on paljon raskasmetalli- ja suolapitoisten kaivosvesien puhdistuksessa. Osaamisen nähdään soveltuvan tuotannon jätevesien puhdistukseen ainakin osalle liuskekaasuesiintymistä sellaisenaan ja osalle perehtymällä jätevesien ominaisuuksiin. Jätevesien puhdistusvaatimukset ovat oletettavasti tiukat Euroopassa heti tuotannon alkaessa, mistä johtuen investointeja vedenpuhdistukseen tul-

laan tekemään mittavasti. Myös jätevesien vuodot ovat olleet käynnissä olevassa tuotannossa haasteena, mitä pystyttäisiin minimoimaan vuotodetektoreilla.

Vesisärötyskemikaalit: Tuotannossa hyödynnettyjen kemikaalien turvallisuuteen on jo nyt kiinnitetty paljon huomiota Yhdysvalloissa. Kemikaalivalinnoilla pystytään myös vaikuttamaan tuotannon vedenkulutukseen, mikä tulee olemaan olennaista esimerkiksi Kiinassa. Euroopan kaikessa tuotannossa noudatetaan kemikaalien REACH-asetuksia, mikä nähdään eurooppalaisille yrityksille pääsääntöisesti liiketoimintaeduksi.

Maaperän puhdistus: Pidemmällä aikajänteellä voidaan tunnistaa liiketoimintamahdollisuuksia globaalilla tasolla tuotantoalueiden pilaantuneen maaperän ja vesistön puhdistukseen käytettävälle suomalaiselle osaamiselle ja teknologialle. Tiukoista ympäristövaatimuksista riippumatta liittyy teolliseen tuotantoon aina riskejä. Ja vahinkojen sattuessa, vaativat ne asianmukaisia puhdistustoimenpiteitä.

8.3 Skenaario C) Metaanitalous – uusiutuvat linkittyvät kaasuinfrastruktureihin

Maakaasun käyttöön siirtyminen on itsessään ilmastonmuutosta hillitsevä ratkaisu, mutta on olennaista jatkaa uusiutuvien energiamuotojen kehitystä. Metaanitaloudessa uusiutuvat energiamuodot, kuten aurinko- ja tuulivoima, on saatu linkitetyiksi olemassa olevaan kaasuinfrastruktureihin ja energiapalettiin, muuntamalla uusiutuva energia metaaniksi. Uusiutuvien energiamuotojen linkittämistä olemassa oleviin energiaratkaisuihin pidetään ilmastonmuutoksen kannalta tärkeänä, mutta tämä nähdään myös edelläkävijä- ja liiketoimintamahdollisuutena. Tässä skenaariovaiheessa tarkastellaan liiketoimintamahdollisuuksia, jotka muodostuvat siirryttäessä kaasusta kustannustehokkaasti uusiutuvien energiamuotojen käyttöön. Kasvanut globaali kaasunkäyttö kannustaa kehittämään kaasumaisia uusiutuvia energiavaihtoehtoja. Uusiutuvien haasteena puolestaan on ollut niiden rajoitteellinen varastointiteknologia sekä energian rajallinen saatavuus ajankohdasta riippuen, joten metaanitaloudessa ratkaistaisiin akkuteknologian haasteet.

Metaanitaloudessa uusiutuva energia muunnetaan kaasumuotoiseksi energiaksi. Menetelmässä hiilidioksidi ja elektrolyysillä erotettu vety, muodostavat metanointi-reaktion lopputuotteena kaasumaista metaania. Prosessin käyttämä sähkö tuotetaan uusiutuvilla energiamuodoilla eli voidaan ajatella sähköön varastoituvan metaaniksi. Hiilidioksidi tuotantoon saadaan talteenotettua fossiilisia polttoaineita hyödyntävästä teollisuudesta ja voimalaitoksista. Hiilidioksidia saadaan myös biolaitoksista, jolloin tulevaisuudessa saadaan fossiiliset polttoaineet poistetuksi kokonaan ketjusta. Metaaniteknologia yhdistää käytännössä olemassa olevat kaasun- ja sähköverkot ja se pystytään rakentamaan olemassa olevan energiainfrastruktureihin päälle. Esimerkiksi aurinkokennolla tuotettu sähkö johdetaan metanointiprosessiin. Erilliseen tankkiin muodostuu sähkötehon määrän verran metaanikaasua. Syntyvä metaani voidaan joko syöttää kaasuputkistoon tai hyödyntää tuotantopaikalla joko polttamalla tai muuntamalla se takaisin sähköksi. Tämä mahdollistaa hajautetun tuotannon, jossa energiantuottaja voi yhtä hyvin olla suuri tuotantoyksikkö kuin yksityishenkilö, jolla on katolla aurinkopaneeli. Metaanitalous olisi alusta rakennettuna kallis tulevaisuuden energiamalli. Kuitenkin liuskekaasun myötä lisääntyvä kaasunkäyttö vähentää metaanitalouteen vaadittavia lisäinvestointeja ja toimii välivaiheena sitä kohti siirryttäessä. Metaanitaloudessa pystytään hyödyntämään samoja putkistoja ja tankkausasemia kuin fossiilisellekin kaasulle. Myös A-skenaariossa käsitellyt biokaasun ja biometaanin tarjoamat mahdollisuudet kasvattavat metaanitalouden potentiaalia ja toimivat sen kanssa synergiaa. Metaanitalouteen on jo vahva kiinnostus esimerkiksi Saksassa, Itävallassa ja Hollannissa, joilla on jo valmiiksi kattava kaasuinfrastrukturei sekä paljon

uusiutuvan energian tuotantoa. Metaanitalous voidaan myös nähdä esiaskeleena kohti kannattavaa vetytaloutta. Kuitenkin metaanitalouden etu vetytalouteen verrattuna on mahdollisuus hyödyntää samoja polttomoottoreita ja putkistoja, jotka soveltuvat maakaasulle.

Metaanitalous tarjoaa laajasti liiketoimintamahdollisuuksia suomalaisille yrityksille ja tilaisuuden todellisiin edelläkävijäratkaisuihin. Uusiutuviin energiaratkaisuihin liittyvät suomalainen materiaali- ja nanoteknologian tutkimus ovat maailman huipputasolla, samoin laitteiden komponentteihin ja tehoelektroniikkaan liittyy vahvaa osaamista. Suomessa on vankkaa kemian osaamista, mitä tarvitaan vedyntuotanto- ja metanointiprosesseissa. ICT-puolelta järjestelmien hallintamenetelmillä pystytään optimoimaan eri energiamuotojen linkittäminen yhteen sekä yksittäisten tuotantoyksiköiden soveltuvuus kokonaisjärjestelmään. Metaanitalous pystytään linkittämään myös biometaanin tuotantoon, missä Suomessa on tunnistettu vahvaa osaamista.

Metaanitalous on tulevaisuuden ideaali energiamalli, jossa tuotanto on hajautettua, maat pystyvät kasvattamaan energiaomavaraisuuttaan ja hyödyntämään alueellaan parhaiten menestyviä uusiutuvia energiamuotoja lähes rajattomasti. Tulevaisuudessa voi yksityishenkilöillä olla katolla aurinkokenno, joka liitettynä pienen mittakoon metanointitankkiin varastoi asukkaan käyttöön metaania, joko muunnettavaksi sähköksi, myytäväksi verkkoon tai kaasuauton tankkaamiseen.

9. JOHTOPÄÄTÖKSET

Yhdysvalloissa alkanut liuskekaasuvallankumous tulee leviämään maailmanlaajuisesti tuotannon alkamiseksi. Tuotannon oletetaan seuraavaksi alkavan Kiinassa, mutta Euroopan tuotantokin alkaa oletettua nopeammin johtuen muuttuneesta poliittisesta ilmapiiristä. Liuskekaasutuotannon laajat mahdollisuudet nostavat globaalisti kaasun merkitystä tulevaisuuden energianlähteenä. Kaasulla pystytään saavuttamaan merkittäviä kasvihuonekaasupäästövähennyksiä, mutta se ei itsessään riitä ilmastonmuutostavoitteisiin pääsemisessä. Tästä johtuen on olennaista rakentaa uusiutuvia energiamuotoja kasvaneen kaasun käyttöinfrastruktuurin päälle.

Muuttunut globaali energia-alueen toimintaympäristö tuo mukanaan runsaasti liiketoimintamahdollisuuksia suomalaisille yrityksille. Liuskekaasutuotannon puolelta mahdollisuuksia on läpi tuotannon edistyksellisistä kaivosprosessitekniikoista, tuotannonvesien puhdistukseen sekä laite- ja kemikaalitoimituksiin. Tämän hetkiset tuotannon haasteet tulee pikemminkin nähdä mahdollisuutena pienentää liuskekaasutuotannon ympäristövaikutuksia. Liuskekaasun ja LNG:n myötä kaasunkäyttö niin Suomessa kuin muualla maailmalla lisääntyy, mikä tarjoaa liiketoimintamahdollisuuksia ensimmäisenä teollisuuden ja meriliikenteen, myöhemmin maaliikenteen ja kotitalouksien ratkaisuille. Kaasun käytön lisääntyessä uusiutuvienkin kaasujen mahdollisuudet lisääntyvät. Uusiutuvilla kaasuilla, pystytään lisäämään kotimaista, hajautettua energiantuotantoa ja vähentämään riippuvuutta tuontien energiasta. Uusiutuvat kaasut ovat ensin biopohjaisia kaasuja, missä Suomella on vahvaa biotalouden osaamista ja pitkä historia biojalostamoissa. Myöhemmin uusiutuvat kaasut laajentuvat tarkoittamaan metaanitalouden aurinko- ja tuulivoimalla valmistettua metaania. Metaanitalous vaatii energijärjestelmän uudelleen ajattelun ja järjestelmää tukemaan soveltuu hyvin suomalainen ICT-osaaminen. Lisäksi aurinko- ja tuulivoimaan liittyen Suomessa on vankkaa tutkimusta ja huipputason osaamista sekä laitekomponenttien että valmistusmateriaalien osalta.

Tulevaisuusskenaarioiden tarkasteluun liittyy aina epävarmuutta, sillä tulevaisuus ei ole ennalta määrätty. Kuitenkin tulevaisuuteen voidaan vaikuttaa tämän päivän valinnoilla ja poliittisesti valituilla kehityssuunnilla. Liuskekaasu vie maailmaa kohti kaasumaisempaa energiatulevaisuutta. Suunnitelmallisella etenemisellä pystytään kaasuun siirtymisellä ja sitä seuraavilla askelilla edistämään kustannustehokkaasti ilmastonmuutoksen hillitsemistä. Tämän tarjoamiin liiketoimintamahdollisuuksiin kannattaa suomalaisten yritysten en-

nakkoluulottomasti tarttua ja toimia edelläkävijöinä kohti puhtaampaa tuotantoa ja vähähii-
lisempää yhteiskuntaa.

LÄHTEET

Accenture. 2012. *Water and Shale Gas Development: Leveraging the US experience in new shale developments*. Accenture. s9. Saatavissa:

<http://www.accenture.com/SiteCollectionDocuments/PDF/Accenture-Water-And-Shale-Gas-Development.pdf>. (13.4.2014)

Arora, V., Yiyong, C. 2014. *U.S. natural gas exports and their global impacts*. Applied Energy. Volume 120, s 95-103. ISSN 0306-2619.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.01.0540306-2619>

Aso, W. 2013. *Fukuoka Hydrogen Strategy – Hy-Life Project*. Hydrogen Seminar 2013, Suomi. Saatavissa:

https://tapahtumat.tekes.fi/uploads/6da90230/Aso_Fukuoka_Hydrogen_Strategy_H2_Seminar_12-4-2013-9615.pdf. (16.4.2014)

BBC. 2013. *UK shale gas resources 'greater than thought'*. British Broadcasting Corporation. Saatavissa: <http://www.bbc.co.uk/news/business-23069499>. (26.3.2014)

BEA. 2014. *National Data - GDP and Personal Income*. U.S. Department of Commerce – Bureau of Economic Analysis. Saatavissa: http://www.bea.gov/iTable/index_nipa.cfm. (16.3.2014)

Bloomberg. 2013. *France's Fracking Ban 'Absolute' After Court Upholds Law*. Bloomberg. Saatavissa: <http://www.bloomberg.com/news/2013-10-11/fracking-ban-upheld-by-french-court-as-constitutional.html>. (26.3.2014)

BP. 2013a. *BP Statistical Review of World Energy*. British Petroleum. Lontoo, Iso-Britannia: BP. s1-48.

BP. 2013b. *Europe Insights. BP Energy Outlook 2030*. British Petroleum. Lontoo, Iso-Britannia: BP. s1.

Brantley, S., Yoxheimer, D., Arjmand, S., Grieve, P., Vidic, R., Pollak, J. 2014. *Water resource impacts during unconventional shale gas development: The Pennsylvania experience*. International Journal of Coal Geology. s1-17. ISSN 0166-5162, <http://dx.doi.org/10.1016/j.coal.2013.12.017>.

Bunch, A., Perry, C., Abraham, L., Wikoff, D., Tachovsky J., Hixon, J., Urban, J. 2014. *Evaluation of impact of shale gas operations in the Barnett Shale region on volatile organic compounds in air and potential human health risks*. Science of the Total Environment. 468-469, s832-842. ISSN 0048-9697, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.08.080>.

Centner, T. 2013. *Oversight of Shale gas production in the United States and the disclosure of toxic substances*. Resources Policy. 38, s233-240.

CIA. 2014. *Russia - The World Fact Book*. Central Intelligence Agency. Saatavissa: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/rs.html>. (16.3.2014)

DAC. 2014. *Vestenskov: The world's first hydrogen community*. Danish Architecture Center. <http://www.dac.dk/en/dac-cities/sustainable-cities/all-cases/energy/vestenskov-the-worlds-first-hydrogen-community/> (19.4.2014)

Davies, R., Foulger, G., Bindley, A., Styles P. 2013. *Induced seismicity and hydraulic fracturing for the recovery of hydrocarbons*. Marine and Petroleum Geology. 45, s171-185. ISSN 0264-8172, <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2013.03.016>.

DOE. 2005. *Liquefied Natural Gas: Understanding the Basic Facts*. U.S. Department of Energy. Washington D.C. s1-23.

DSHS. 2010. *DISH, Texas Exposure Investigation*. Texas Department of State Health Services. Saatavissa: <http://www.dshs.state.tx.us/epitox/assess.shtm>. (16.3.2014)

Economist. 2013. *Unconventional gas in Europe - Frack to the Future*. The Economist. Saatavissa: <http://www.economist.com/news/business/21571171-extracting-europes-shale-gas-and-oil-will-be-slow-and-difficult-business-frack-future>. (26.3.2014).

EIA. 2012. *U.S. Energy-Related Carbon Dioxide Emissions*. U.S. Energy Information Administration. Washington D.C. s1-14.

EIA. 2013. *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States*. U.S. Energy Information Administration Washington D.C. s1-76.

EIA. 2014a. *U.S. Natural Gas Prices*. U.S. Energy Information Administration. Saatavissa: http://www.eia.gov/dnav/ng/ng_pri_sum_dcu_nus_m.htm. (16.3.2014).

EIA. 2014b. *Monthly Energy Preview*. U.S. Energy Information Administration. Washington D.C. s1-211.

EIA. 2014c. *AEO 2014 Early Release Overview*. U.S. Energy Information Administration. Washington D.C. s1-18.

Energiamarkkinavirasto. 2012. *Kertomus maakaasun toimitusvarmuudesta 2012*. Energiamarkkinavirasto. Helsinki, Finland s1-17.

Energiateollisuus 2013. *Sähkön hankinta energialähteittäin 2013*. Energiateollisuus. Saatavissa: <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet> (21.4.2014)

EPA. 2010. *Water: Underground Injection Control*. Environmental Protection Agency Saatavissa: <http://water.epa.gov/type/groundwater/uic/basicinformation.cfm>. (16.3.2014)

EPA. 2012. *Study of the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing on Drinking Water Resources*. Environmental Protection Agency. Washington D.C.: U.S. Environmental Protection Agency. s1-278.

EPA. 2013. *Natural Gas STAR Program*. U.S. Environmental Protection Agency. Saatavissa: <http://www.epa.gov/gasstar/basic-information/index.html#overview2>. (8.4.2014)

Euroopan parlamentin ja neuvoston kaatopaikkadirektiivi 1999/31/EY. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1999:182:0001:0019:FI:PDF>

Euroopan parlamentin ja neuvoston uusiutuvan energian käytön edistämisdirektiivi 2009/28/EC <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=Oj:L:2009:140:0016:0062:fi:PDF>

European Commission. 2008. *The 2020 Climate and Energy package Press release*. Saatavissa: http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm. (16.3.2014)

European Commission. 2013a. *Analysis and presentation of the results of the public consultation "Unconventional fossil fuels (e.g. shale gas) in Europe"*. BIO Intelligence Service & European Commission DG Environment. Pariisi, Ranska. s1-142.

European Commission. 2013b. *Quarterly Report on European Gas Markets*. Saatavissa: http://ec.europa.eu/energy/observatory/gas/doc/20130814_q2_quarterly_report_on_european_gas_markets.pdf. (8.4.2014)

European Commission. 2014. *2030 climate and energy goals for a competitive, secure and low-carbon EU economy*. Euroopan komissio. Saatavissa: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-14-54_en.htm. (16.3.2014)

European Parliament. 2012. *Shale gas extraction: How does it work?* Euroopan parlamentti. Saatavissa: <http://www.europarl.europa.eu/news/en/news-room/content/20120913STO51335/html/Shale-gas-drilling-find-out-how-it-works> (17.4.2014)

FERC. 2014. *North American LNG Import/Export Terminals Approved*. U.S. Federal Energy Regulatory Commission. Saatavissa: <https://www.ferc.gov/industries/gas/industry-act/lng/lng-approved.pdf>. (16.3.2014)

FracFocus. 2014. *FracFocus – The National Hydraulic Fracturing Chemical Registry*. Ground Water Protection Council, Interstate Oil and Gas Compact Commission. Saatavissa: <http://fracfocus.org/>. (16.3.2014)

Frohlich, C., Brunt, M. 2013. *Two-year survey of earthquakes and injection/production wells in the Eagle Ford Shale, Texas, prior to the MW 4.820 October 2011 earthquake*. Earth and Planetary Science Letters. 379, s56-63. ISSN 0012-821X, <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2013.07.025>.

Frohlich, C. 2012. *Two-year survey comparing earthquake activity and injection-well locations in the Barnett Shale, Texas*. Proceedings of the National Academy of Sciences. 109, s13934–13938. DOI10.1073/pnas.1207728109

Gasum. 2013. *Nesteytetyn maakaasun merkitys Suomelle ja Itämeren LNG-hankkeet*. Esitysmateriaali, Antero Jännes. Energiapäivä 29.10.2013. Kalastajatorppa, Helsinki.

Gasum. 2014a. *Gasumista Pohjoismaiden suurin LNG-toimija yrityskaupan myötä*. Gasum. Saatavissa: <http://gasum.fi/Yritystietoa/Uutiset/Gasumista-Pohjoismaiden-suurin-LNG-toimija-yrityskaupan-myota/>. (16.3.2014)

Gasum, 2014b. *Puhtaampi liikenne – liikenteen polttoaineiden hintavertailu*. Gasum. Saatavissa: <http://www.gasum.fi/Puhtaampi-liikenne/Liikennekaasun-hinta/Hintavertailu/> (17.4.2014)

Gazprom. 2008. *Gazprom in figures 2004–2008 Factbook*. Gazprom. Saatavissa: <http://www.gazprom.com/f/posts/71/879403/3se.pdf>. (16.3.2014)

- Gazprom. 2013. *Igor Yusufov: Shale gas is an unprofitable business and a very harmful thing for environment*. Gazprom. Saatavissa: <http://www.gazprom.com/press/reports/2013/shale-gas/>. (16.3.2014)
- GIE. 2013. *LNG Map Europe*. Gas Infrastructure Europe. Saatavissa: <http://www.gie.eu/index.php/maps-data/lng-map>. (16.3.2014)
- Gilardoni, A. 2008. *The World Market for Natural Gas - Implications for Europe*. Springer. Milano, Italia. s. 116-134 ISBN 978-3-540-68200-4, e-ISBN 978-3-540-68208-0
- Godec, M., Koperna, G., Petrusak, R., Oudinot, A. 2013. *Potential for enhanced gas recovery and CO₂ storage in the Marcellus Shale in the Eastern United States*. International Journal of Coal Geology. 118, s95-104. ISSN 0166-5162, <http://dx.doi.org/10.1016/j.coal.2013.05.007>.
- Guarnone, M., Rossi, F., Negri, E., Grassi, C., Genazzi, D., Zennaro, R. 2012. *An unconventional mindset for shale gas surface facilities*. Journal of Natural Gas Science and Engineering. 6, s14-23. ISSN 1875-5100, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jngse.2012.01.002>.
- Göteborg Energi. 2013. *GoBiGas-Project page*. Göteborg Energi. Saatavissa: <http://gobigas.goteborgenergi.se/En/Start> (16.4.2014)
- Henderson, J. 2012. *The Potential Impact of North American LNG Exports*. Oxford Institute for Energy Studies. 1-65. ISBN 978-1-907555-59-6
- Higman, C., van der Burgt, M. 2009. *Gasification 2nd edition*. Amsterdam: Gulf Professional Publications. s6-398. ISBN 978-0-7506-8528-3, e-ISBN 978-0-080-56090-8
- Hirsjärvi, S., Hurme, H. 2001. *Tutkimushaastattelu: Teemahaastattelun teoria ja käytäntö*. Helsinki: Yliopistopaino. s1.
- IEA. 2011. *Climate & Electricity annual - Data and analyses*. Pariisi, Ranska: International Energy Agency. s1-90.
- IEA. 2012. *Golden Rules for a Golden Age of Gas - World Energy Outlook*. Pariisi, Ranska: International Energy Agency. s1-150.
- IEA. 2013a. *CO₂ emissions from Fuel Combustion*. Pariisi, Ranska: International Energy Agency. s1-158.
- IEA. 2013b. *Key World Energy Statistics*. Pariisi, Ranska: International Energy Agency. s1-82.
- IEA. 2013c. *Renewable Energy Outlook. IEA World Energy Outlook*. Pariisi, Ranska: International Energy Agency. s197-232.
- IEN. 2008. *Mineral rights ownership – what is it and why is it so unique in the USA?* International Energy Network. Saatavissa: <http://www.ieneurope.com/eng/index.html>. (16.3.2014).
- IGU. 2012. *Renewable Gas - The Sustainable Energy Solution*. Kuala Lumpur, Malesia: International Gas Union. s8-26.

- IHS Global Insight USA. 2011. *The Economic and Employment Contributions of Shale Gas in the United States*. Washington D.C.
- IPCC. 1996. *Workbook (Volume 2): Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Intergovernmental Panel on Climate Change. s1-20.
- Kinnaman, T. 2011. *The economic impact of shale gas extraction: A review of existing studies*. *Ecological Economics*. 70, s1243-1249.
- Koljonen, T., Ruska, M., Flyktman, M. Forrström, J., Kiviluoma, J., Kirkinen, J., Lehtilä, A. 2009. *Energiäresurssit ja -markkinat*. Helsinki, Finland: VTT 2489. s15-16 ISBN 978-951-38-7546-6, ISSN 1455-0865
- Kharaka Y., Otton J. 2007. *Preface to Special Issue on Environmental Issues Related to Oil and Gas Production*. *Applied Geochemistry*. Volume 22, s. 2095-2098, ISSN 0883-2927, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2007.04.006>.
- Kharaka, Y., Thordsen, J., Conoway C, Thomas, R. 2013. *The energy-water nexus: potential groundwater-quality degradation associated with production of shale gas*. U.S. Geological Survey, Menlo Park, California, USA. *Procedia Earth and Planetary Science*. 7, s 417-422. ISSN 1878-5220, <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeps.2013.03.132>.
- Kropatcheva, E. 2014. *He who has the pipeline calls the tune? Russia's energy power against the background of the shale "revolutions"*. *Energy Policy*. 66, s1-10. ISSN 0301-4215, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.058>.
- Liu, F., Ellet, K., Xiao, Y., Rupp, J. 2013. *Assessing the feasibility of CO2 storage in the New Albany Shale (Devonian–Mississippian) with potential enhanced gas recovery using reservoir simulation*. *International Journal of Greenhouse Gas Control*. 17, s111-126. ISSN 1750-5836, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijggc.2013.04.018>.
- Obama, B. 2013. *Presidential Memorandum -- Power Sector Carbon Pollution Standards*. The White House. Saatavissa: <http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2013/06/25/presidential-memorandum-power-sector-carbon-pollution-standards>. (16.3.2014)
- Medlock, K. 2012. *U.S. LNG exports: Truth and Consequence*. Houston, Texas: Rice University Institute for Public Policy. s1-34.
- Nielsen, J. 1993. *Usability Engineering*. Boston: Academic Press. s1. ISBN 0-12-518405-0
- Novak, A. 2012a. *Gasification Technologies 2012*. Council Conference. Saatavissa: <http://www.emersonprocessxperts.com/2011/10/2011-gasification-technologies-council-conference>. (16.3.2014)
- Novak, A. 2012b. *Impact of Shale Gas on Coal Conversion Technologies*. Emerson Process Experts. Saatavissa: <http://www.emersonprocessxperts.com/2012/01/impact-of-shale-gas-on-coal-conversion-technologies/>. (16.3.2014)
- Pirilä, P. 2009. *Energiämarkkinat-kurssimateriaali*. Teknillinen Korkeakoulu, Espoo. s1-70.

- Public Sénat. 2012. *Gaz de schiste : début d'incendie dans la majorité, vite éteint par Matignon*. Saatavissa: <http://www.publicsenat.fr/lcp/politique/gaz-schiste-d-d-incendie-majorit-vite-teint-matignon-334136>. (26.3.2014)
- Pöyry. 2013a. *Joutsenon puupohjaista biokaasua tuottava biojalostamo*. Gasum Oy, Helsingin Energia & Metsä Fibre Oy. *Ympäristövaikutusten arviointiselostus*. Pöyry. s1-9.
- Pöyry. 2013b. *Macroeconomic effects of European Shale Gas Production*. Oxford: The International Association of Oil and Gas Producers. s 1-82.
- Rahm, D. 2011. *Regulating hydraulic fracturing in shale gas plays: The case of Texas*. Energy Policy. 39, s 2974-2981. ISSN 0301-4215, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2011.03.009>.
- RAENG. 2012. *Shale Gas Extraction in the UK: A review of Hydraulic Fracturing*. The Royal Academy of Engineering. Saatavissa: http://www.raeng.org.uk/news/publications/list/reports/Shale_Gas.pdf. (16.3.2014)
- Reuters. 2013. *Poland's shale gas hopes buoyed by promising test output*. Reuters. Saatavissa: <http://www.reuters.com/article/2013/08/28/poland-shale-idUSL6N0GT0OI20130828>. (26.3.2014)
- Reuters. 2014. *Ukraine crisis sharpens focus on European shale gas*. Reuters. Saatavissa: <http://www.reuters.com/article/2014/03/14/europe-shale-ukraine-idUSL6N0MB1WI20140314>. (26.3.2014)
- Rubin, A. 2005. *Tulevaisuudentutkimus tiedonalana ja tieteellisenä toimintana*. Futunet. Saatavissa: <http://www.futunet.org/fi/materiaalit/tutkimus>. (16.3.2014)
- Schoots, K., Rivera-Tinoco, R., Verbong, G., van der Zwaan, B. 2011. *Historical variation in the capital costs of natural gas, carbon dioxide and hydrogen pipelines and implications for future infrastructure*. International Journal of Greenhouse Gas Control. 5, s1614-1624. ISSN 1750-5836, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijggc.2011.09.008>.
- Shale gas Europe. 2013. *Poland*. Shale gas Europe. Saatavissa: <http://www.shalegas-europe.eu/en/index.php/resources/shale-opportunities-in-europe/poland>. (26.3.2014)
- Siitonen, S. 2013. *Kaasu energialähteenä: Kaasujen eri muodot ja soveltamiskohteet alueellisella tasolla*. Energia Yhdyskuntasuunnittelussa-kurssimateriaali. Aalto-yliopisto.
- Smith, A. 2011. *Cash In on the Natural Gas Shale Boom*. Kiplinger. Saatavissa: <http://www.kiplinger.com/article/business/T019-C000-S002-cash-in-on-the-natural-gas-shale-boom.html>. (16.3.2014)
- Sørensen, B. 2012. *Hydrogen and Fuel Cells - Emerging Technologies and Applications (2nd Edition)*. Amsterdam: Academic Press. s6-92, s404-406. ISBN 978-0-12-387709-3, e-ISBN 978-0-12-396503-5
- Speight, J. 2013. *Shale Gas Production Processes*. Elsevier. ISBN 978-0-12-404571-2, e-ISBN 978-0-12-404551-4

Stephenson, E., Doukas, A., Shaw, K. 2012. "Greenwashing gas: Might a 'transition fuel' label legitimize carbon-intensive natural gas development?". *Energy Policy*. 46, s452-459. ISSN 0301-4215, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.04.010>.

Stromberg, J. 2013. *Radioactive Wastewater From Fracking Is Found in a Pennsylvania Stream*. *Smithsonian Magazine*. Saatavissa: <http://www.smithsonianmag.com/science-nature/radioactive-wastewater-from-fracking-is-found-in-a-pennsylvania-stream-351641/?no-ist>. (16.3.2014)

Suomen Kaasuyhdistys. 2012. *Natural gas and Biogas in Finland*. Helsinki, Finland: Suomen Kaasuyhdistys. s1-9.

Syri, S., Vihma, A., Airaksinen, M., Hast, A., Järvelä, M., Ollikainen M., Savolainen, I., Seppälä, J., Soimakallio, S. 2013. *Kansainvälisen ja EU:n ilmastopolitiikan ajankohtaisia teemoja*. Suomen ilmastopaneeli raportti 6/2013. Helsinki, Finland. s6-45.

Taloussanomat. 2013. *Liuskekaasua liian lähellä*. Taloussanomat. Saatavissa: <http://www.taloussanomat.fi/kolumnit/2013/08/30/liuskekaasua-liian-lahella/201312043/145>. (26.3.2014)

Tekes. 2013. *Yhteistyötä puhtaamman ympäristön puolesta*. Tekes. Saatavissa: <http://www.tekes.fi/nyt/uutiset-2013/groove-uutisia/yhteistyota-puhtaamman-ympariston-puolesta1>. (26.3.2014)

TEM. 2013. *Energia- ja ilmastomuutosstrategia*. Työ- ja elinkeinoministeriö. Saatavissa: http://www.tem.fi/files/36730/Energia-_ja_ilmastostrategia_2013_SUOMENKIELINEN.pdf (21.4.2014)

Tilastokeskus. 2014. *Suomi lukuina - Energian kokonaiskulutus*. Saatavissa: http://www.stat.fi/tup/suoluk/suoluk_energia.html. (16.3.2014)

Tilastokeskus. 2012. *Energiatilasto 2012*. Tilastokeskus. Saatavissa: http://pxweb2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2012/html/suom0002.htm (21.4.2014)

Työterveyslaitos. 2003. *OVA-ohje: Vety-tiivistelmä*. Saatavissa: <http://www.ttl.fi/ova/tvety.html>. (16.3.2014)

Ulkoministeriö. 2013. *Raportti, 14.8.2013: Kiinan markkinat auki nyt myös hiilidioksidille*. Suomen Pekingin Suurlähetystö. Team Finland. Saatavissa: <http://team.finland.fi/Public/default.aspx?contentid=281791&contentlan=1&culture=fi-FI>. (16.3.2014)

UT Austin 2012. *Assessing the real and perceived consequences of shale gas development*. Austin: Energy Institute, University of Texas Austin. s1-8.

Vidic, R., Brantley, S., Vandenbossche, J., Yoxtheimer, D., Abad, J. 2013. *Impact of Shale Gas Development on Regional Water Quality*. *Science*. 340, s826-837. ISSN 0036-8075. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1235009>

VTT. 2011. *VETAANI, Puuperäistä biomassaa hyödyntävän synteettisen maakaasun tai vedyn tuotantoprosessin kehittäminen ja arviointi*. Teknologian tutkimuskeskus, VTT. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/sites/vetaani/> (19.4.2014)

Wang, C., Wang, F., Hongry, D., Zhang, X. 2014. *Is China really ready for shale gas revolution—Re-evaluating shale gas challenges*. *Environmental Science & Policy*. 39,s 49-55. ISSN 1462-9011, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2014.02.007>.

Wang, Q., Chen X., Jha, A., Rogers, H. 2014. *Natural gas from shale formation – The evolution, evidences and challenges of shale gas revolution in United States*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 30, s1-28. ISSN 1364-0321, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.065>.

Weijermars, R. 2013. *Economic appraisal of shale gas plays in Continental Europe*. *Applied Energy*. 106, s100-115. ISSN 0306-2619, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.01.025>.

Wood, D. 2012. *A review and outlook for the global LNG trade*. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, vol 9, s16-27. ISSN 1875-5100, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jngse.2012.05.002>.

World Bank. 2014. *The Overview of Commodity Markets*. World Bank. Saatavissa: <http://go.worldbank.org/4ROCCIEQ50>. (16.3.2014).

Wyciszkiewicz, E. 2009. *Energy Security in Europe after Russo-Ukrainian gas dispute*. The Polish Institute for International Affairs. s 575-585. Saatavissa: http://www.pism.pl/files/?id_plik=3076. (16.3.2014).

YLE. 2014. *Neljä EU-maata pyytää USA:lta lisää kaasua*. YLE. Saatavissa: http://yle.fi/uutiset/nelja_eu-maata_pyytaa_yhdysvaltoja_lisaamaan_kaasunvientia_-_riippuvuutta_venajasta_halutaan_vahentaa/7127245. (16.3.2014).

LIITELUETTELO

LIITE 1: Haastattelut Yhdysvalloissa

LIITE 2: Haastattelut Suomessa

Troy Ault	Cleantech group	San Francisco, CA	20.12.2013
Ripudaman Malhotra	SRI Stanford Research Institute	Palo Alto, CA	6.1.2014
Susan Sakmar	Legal Talent Inc.	Tiburon, CA	8.1.2014
Susan Jenkins ja David Zillberman	EBI Energy and Biosciences Institute, Berkeley	Berkeley, CA	9.1.2014
Reginald Mitchell	Stanford University, Department of Engineering	Stanford, CA	15.1.2014
Maryann Locka	Embassy of Norway	Washington D.C.	17.1.2014
Susan Sharkey	EPA U.S. Environmental Protection Agency	Washington D.C.	22.1.2014
Jeffrey Logan, puhelinhaastattelu	NREL, National Renewables Laboratory	Golden, CO	23.1.2014
Alisa Schackman ja Tim Broersman	Brookings Institute	Washington D.C.	24.1.2014
Sally Kornfeld ja Dan Milstein	DOE U.S. Department of Energy	Washington D.C.	27.1.2014
Katie Ehly	ANGA American Natural Gas Association	Washington D.C.	28.1.2014
Fred Lawrence	IPAA Independent Petroleum Association of America	Washington D.C.	29.1.2014
Sarah Forbes	WRI World Resources Institute	Washington D.C.	30.1.2014

LIITE 2 (1/1)

Ritonummi, Timo	Teollisuusneuvos	TEM Työ- ja elinkeinoministeriö	11.10.2013
Koljonen, Tiina	Päätökija	VTT	4.11.2013
Siitonen, Sari	Teknologiapäällikkö	Gasum	14.11.2013
Kärnä, Lauri	Energia-asiantuntija	Neste Oil	28.11.2013
Kojo, Ilkka	Johtaja, Ympäristö ja kestävä kehitys	Outotec	29.11.2013
Suni, Paavo	Tutkija	Etna Elinkeinoelämän tutkimuslaitos	9.12.2013
Aminoff, Tomas	Johtaja, Ship Power	Wärtsilä	12.12.2013
Toivonen, Susanna	T&K manager, Oil & mining	Kemira	12.12.2013
Palonen, Juha Puhelinhaastattelu	Product manager, Gasifiers	Foster Wheeler Energia	13.12.2013
Keronen, Jouni	Kehitysjohtaja, Innovaatiotoiminta	Fortum	13.12.2013
Mäntysaari, Markus	Vice President, Oil & Mining	Kemira	17.12.2013
Natri, Pekka	Myyntijohtaja, Industrial Water treatment	Outotec	3.2.2014