



Juha Forsström

Euroopan kaasunhankinnan malli

ISBN 978-951-38-7190-1 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)
ISSN 1459-7683 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2009

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 3, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 7001

VTT, Bergsmansvägen 3, PB 1000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 7001

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 3, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax + 358 20 722 7001



Julkaisun sarja, numero ja
raporttikoodi

VTT Working Papers 123
VTT-WORK-123

Tekijä(t) Juha Forsström		
Nimeke Euroopan kaasunhankinnan malli		
Tiivistelmä <p>Hankkeessa on laadittu Monte Carlo -simulointimalli, joka kuvaa Euroopan maakaasun tuontitarpeen tyydyttämistä. Tuonti jaetaan putkikaasuun ja nesteytettyyn maakaasuun, LNG. Tuontiosuudet määräytyvät hintasuhteiden perusteella. Putkikaasua toimittavat Norja, Venäjä ja Pohjois-Afrikan maat ja myöhemmin myös Kaspianmeren ympärysvaltiot ja Iran. Nesteytetty maakaasu ostetaan markkinoilta, joilla Euroopan kanssa siitä kilpailevat USA ja Aasia. LNG:tä tuottavat Afrikan ja Lähi-idän valtiot.</p> <p>Euroopan kaasuntuonti jää tuntuvasti deterministisen perusuran määrää vähäisemmäksi, kun tarjontaan ja kilpailijoihin liittyvät epävarmuudet huomioidaan. Keskeiset tarjonnan epävarmuudet koskevat uusien kenttien käyttöönoton ja siirtoputkistojen toteutusten viiveisiin. Kaasun vientituotantoon vaikuttaa paitsi kaasuvarojen määrä ja kehittämisnopeus, niin myös tuottajien oman käytön kehittyminen. Kysyntäpuolen epävarmuudet koskevat Euroopan kanssa kilpailevien USA:n ja Aasian kysynnän määrää ja siitä johtuvaa kilpailua. Laskentaesimerkit osoittavat, että epävarmuuksien huomioiminen on tärkeää tulevaisuuden vaihtoehtojen arvioimisen kannalta.</p>		
ISBN 978-951-38-7190-1 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Avainnimeke ja ISSN VTT Working Papers 1459-7683 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Projektinnumero 17968
Julkaisuaika Syyskuu 2009	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 80 s.
Projektin nimi SEKKI	Toimeksiantaja(t)	
Avainsanat Natural gas, model, Monte Carlo -simulation	Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4520 Faksi 020 722 4374	



Series title, number and
report code of publication

VTT Working Papers 123
VTT-WORK-123

Author(s) Juha Forsström		
Title Model for European natural gas imports		
Abstract <p>A Monte Carlo simulation model describing the future possibilities to fulfil European natural gas import demand has been defined. Imports comprise both the pipeline and the liquefied natural gas, LNG. Their import shares are determined by prices. Russia, Norway and Northern African producers supply the pipeline gas. Later the producers around the Caspian sea and possibly Iran can sell natural gas to Europe through the Nabucco line. In the LNG market the USA and the Asian countries compete with Europe for the same deliveries.</p> <p>When the uncertainties in the supply line and of the demand of the competing purchasers are taken into account the European imports drop substantially from the levels of the deterministic base case. Major uncertainties comprise the amount of reserves over time, the delays in developing the fields and pipelines and the future gas demand in USA and in Asia. The simulation examples show the importance of uncertain factors in assessing the future options.</p>		
ISBN 978-951-38-7190-1 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Series title and ISSN VTT Working Papers 1459-7683 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Project number 17968
Date September 2009	Language Suomi, Engl. abstr.	Pages 80 p.
Name of project SEKKI	Commissioned by	
Keywords Natural gas, model, Monte Carlo -simulation	Publisher VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4520 Fax +358 20 722 4374	

Sisällysluettelo

Alkusanat	7
1. Johdanto	8
1.1 Yleisrakenne	8
1.2 Mallin rajaukset	9
1.3 Epävarmuudet	11
1.4 Mallianalyysin tulokset	12
2. Kaasun tuottajat	13
2.1 Tuotteet ja niiden kustannusrakenteet	13
2.1.1 Tuotteet	13
2.1.2 Kustannusrakenteet	13
2.2 Päätöksenteko	15
2.3 Kenttädynamiikka	16
2.3.1 Kaasukentän tuotantokyky	16
2.3.2 Uusien kenttien käyttöönotto ja laajentaminen	19
2.3.3 Kaasun tuotantokustannus	22
2.4 Toimituskyky	24
2.4.1 Toimituskyvyn laskenta	25
2.4.2 Kaasun toteutuva tuotanto	27
2.5 Siirtoinfrastruktuuri	29
2.5.1 Putkisiirtolinjat	29
2.5.2 LNG:n siirtojärjestelmä	30
3. Kaasun kuluttajat	31
3.1 Euroopan kaasunkulutus	31
3.1.1 Kaasun käytön vuodenaikavaihtelut	31
3.1.2 Hinnan vaikutus tuontikaasun kysyntään	34
3.1.3 Putki- ja LNG-kaasun markkinaosuudet	36
3.2 Stokastinen kulutus	40
4. Markkinaympäristö	43
4.1 Tasapainon haku	43
4.2 Putkikaasumarkkinan ja LNG-markkinan vuorovaikutus	43
4.3 Putkikaasumarkkina	44
4.3.1 Markkinatasapaino	45

4.3.2	Kaasun jako putkilinjoille	45
4.3.3	Kysynnän jako putkilinjaa syöttäville tuottajille	47
4.4	LNG-markkina.....	48
4.4.1	Markkinatasapainon laskenta	48
4.4.2	Tuottajien markkinaosuudet	50
4.4.3	Nesteytyskapasiteetin lisärakentaminen	52
5.	Esimerkkiajoja	56
5.1	Perusdata	56
5.1.1	Resurssit	56
5.1.2	Kulutus	57
5.1.3	Kustannukset	59
5.1.4	Siirtoyhteydet	60
5.2	Perusura	60
5.3	Monte Carlo -simulointi	67
5.3.1	Simuloinnin tuloksia.....	69
5.3.2	Yhteenveto simulointilaskelmista.....	78
6.	Yhteenveto	79
	Lähteet.....	80

Alkusanat

Julkaisussa on esitetty hankkeeseen ”Suomalaisen energiateollisuuden kilpailukyky ilmastopolitiikan muuttuessa – SEKKI” liittyvästä Euroopan maakaasun tuontimahdollisuuksia kartoittaneesta osahankkeesta. Eri osatehtävien tuloksia on raportoitu erillisissä raporteissa sekä konferenssiartikkeleissa ja koko hankkeen keskeisimmät tulokset on koottu yhteenvetoraporttiin.

Tutkimus tehtiin VTT:n, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT) sekä Suomen Pankin siirtymätalouksien tutkimuslaitoksen (BOFIT) yhteishankkeena, ja koordinaattorina toimi VTT. Tutkimus oli osa Tekesin ClimBus-ohjelmaa, ja sitä rahoittivat Tekesin lisäksi Fingrid Oyj, Fortum Oyj, Gasum Oy, Metso Power Oy, Teknologiateollisuus ry, ulkoasiainministeriö, ÅF-Consult Oy, BOFIT, MTT ja VTT. Yhteishankkeen koordinaattorina ja vastuullisena johtajana toimivat teknologiapäällikkö Sanna Syri (30.9.2008 asti) sekä toimialajohtaja Kari Larjava (1.10.2008 lähtien). Projekti-päällikkönä toimi erikoistutkija Tiina Koljonen VTT:ltä. MTT:n ja BOFITin osahankkeiden vastuullisina johtajina toimivat erikoistutkija Katri Pahkala ja tutkimusohjaaja Iikka Korhonen. Projektin johtoryhmän puheenjohtajana toimi Risto Lindroos (Fingrid). Johtoryhmään kuuluivat lisäksi Marjatta Aarniala (Tekes), Björn Ahlnäs (Gasum), Timo Airaksinen (Teknologiateollisuus), Karoliina Anttonen (ulkoasiainministeriö), Pekka Järvinen (ÅF-Consult), Pirjo Peltonen-Sainio (MTT), Matti Rautanen (Metso Power), Eero Vartiainen (Fortum), Pekka Sutela (BOFIT), Satu Helynen (VTT), Kari Larjava (VTT), Sanna Syri (VTT) ja Tiina Koljonen (siht., VTT).

Hankkeen tutkijat haluavat kiittää johtoryhmää aktiivisesta osallistumisesta ja ohjauksesta.

Elokuussa 2009

Juha Forsström

1. Johdanto

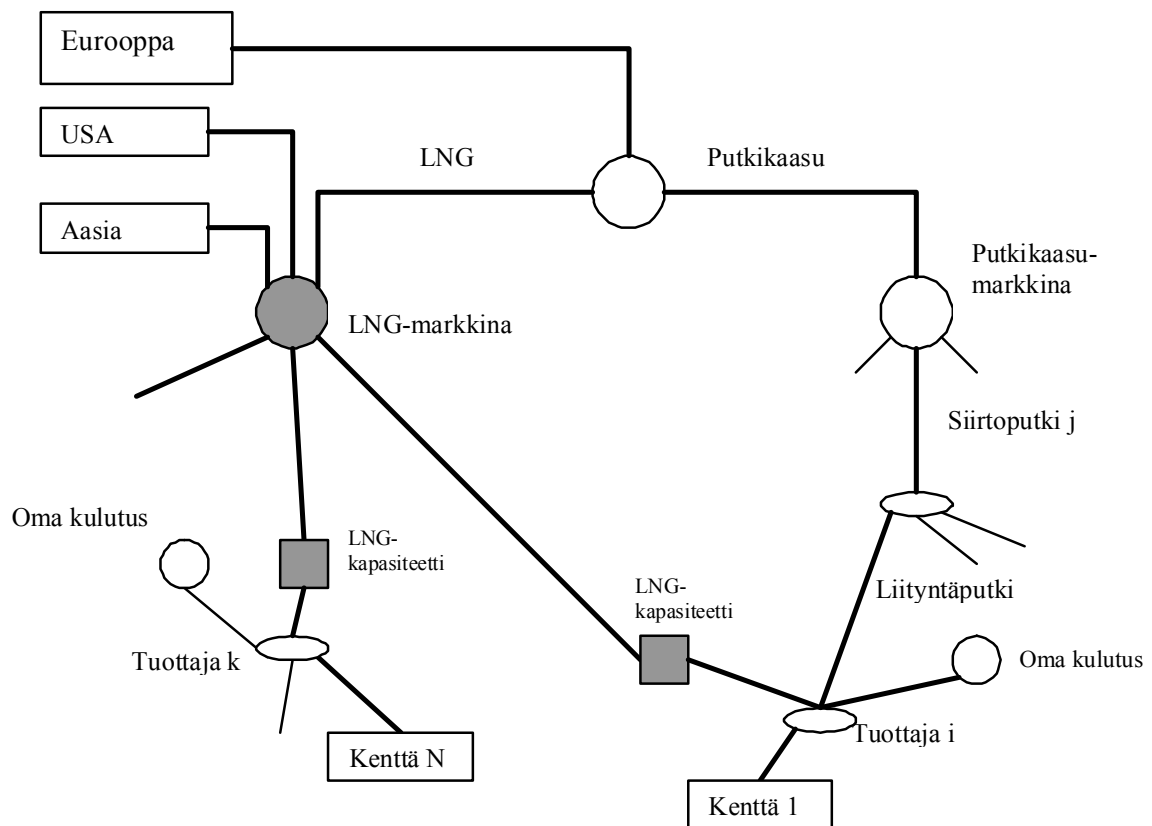
1.1 Yleisrakenne

Malli tarkastelee Euroopan maakaasun hankintaa ikään kuin Euroopan sisäinen kaasumarkkina olisi jo yhdentynyt ja se toimisi kitkatta. Näin voidaan keskittyä Euroopan kaasun tuonnin tulevaisuuden epävarmuuksien käsittelyyn.

Euroopan maakaasun hankinta koostuu kolmesta osasta: omasta tuotannosta (EU-alue), putkikaasun tuonnista ja nesteytetyn maakaasun (*Liquified Natural Gas*, LNG) tuonnista. Putkikaasu ja LNG taistelevat markkinaosuuksista hinnan perusteella. Kuva 1 esittää mallin rakenteen. Markkinatasapainoa tarkastellaan vuosittain kahdessa osassa, kesällä ja talvella. Putkikaasumarkkinalla on vain yksi ostaja, Eurooppa, kun taas LNG-markkinalla on kolme kilpailevaa ostajaa: Eurooppa, USA ja Aasia. Mahdolliset ylikysyntätilanteet johtavat kaasun hinnan nousuun, mikä puolestaan vähentää kysyntää tasapainottaen tilanteen.

Putkikaasun tuontimäärää rajoittaa putkisiirtolinjojen kapasiteetti, jonka käyttäjä määrittelee lähtötietona. Uusien putkilinjojen toteutusajankohta voidaan käsitellä epävarmana suurena, joka vaikuttaa Euroopan maakaasun saatavuuteen. Euroopan LNG-vastaanottokapasiteettia lisätään tarpeen mukaan. Se ei käytännössä koskaan rajoita LNG:n tuontia. Tämä vastaa nykyistä tilannetta.

Euroopan kaasuntuonnin tavoite määritetään skenaariona. Toteutuva tuontimäärä määräytyy kuitenkin mallin sisäisesti, endogeenisesti. Siihen vaikuttavat Euroopan kaasun tuontiskenario, oman tuotannon määrä, putkikapasiteetti, putkikaasun ja LNG-kaasun hintasuhde sekä kaasun viejien toimituskyky. Viimeksi mainittuun vaikuttavat resurssien määrä, tuotantokapasiteetti ja tuottajan oma kulutus.



Kuva 1. Mallin rakenne.

1.2 Mallin rajaukset

Taulukko 1:een on koottu keskeiset malliin syötettävät, sen ulkopuoliset (eksogeeniset) tekijät ja mallin laskemat suureet, endogeeniset tekijät. Eksogeeniset tekijät ovat siis käyttäjän malliin syöttämiä suureita. Tämä taulukko kuvaa mallin keskeiset syötteet ja tulokset mahdollisimman tiiviisti.

1. Johdanto

Taulukko 1. Mallin tietovirtojen hahmottelua.

<u>Eksogeeniset suureet</u>	<u>Endogeeniset suureet</u>
<ul style="list-style-type: none">• Kaasun määrä ja epävarmuus<ul style="list-style-type: none">• Todetut varat• Mahdolliset lisävarat• Tuotantokustannukset• Kapasiteetin kehittyminen<ul style="list-style-type: none">• Uudet putkisiirtolinjat• Venäjän kenttien käyttöönotto• Saudi-Arabian ja Iranin osallistuminen kaasun vientiin• Euroopan kaasun kulutusskenaario<ul style="list-style-type: none">• Kokonaiskulutus• Oman tuotannon määrä• Tuottajamaiden oma kulutus<ul style="list-style-type: none">• Venäjä• Muut tuottajamaat• LNG:n kilpaileva kysyntä<ul style="list-style-type: none">• USA:n ja Aasian kysynnän kasvu ja hajonta pitkällä aikavälillä	<ul style="list-style-type: none">• Resurssitilanne<ul style="list-style-type: none">• Jäljellä oleva kaasumäärä• Kentän tuotantokyky• Kapasiteetin kehittyminen<ul style="list-style-type: none">• Kaasukentän tuotantokapasiteetti• LNG:n tuotantokapasiteetin mukautuminen kysynnän mukaan• Euroopan toteutuva kaasuntuonti<ul style="list-style-type: none">• Oston määrä: putki ja LNG• Ostojen hajautuneisuus• Hintavaihtelut ja saatavuuden vaihtelut• Putkikaasumarkkina<ul style="list-style-type: none">• Putkikaasun kysynnän kohdentaminen putkilinjalle → tuottajamaalle → kaasukentälle• LNG-markkina<ul style="list-style-type: none">• LNG:n kysynnän allokointi tuottajamaalle → kaasukentälle• USA:n ja Aasian oston toteutuma yli ajan

Mallin käyttäjä tekee kaikki merkittävät strategiset päätökset, joita ovat seuraavat:

1. Uusien putkisiirtolinjojen rakentaminen, niiden kapasiteetit ja aikaisin mahdollinen käyttöönotto vuosi. Koska käyttöönoton ajankohta on suurissa hankkeissa aina epävarma, käyttäjä määrittelee lisäksi viivästymisen todennäköisyysfunktioita. Se tapahtuu yksinkertaisesti yhden parametrin avulla.
2. LNG:n vientitoimintaan osallistuminen. Tämä määritellään maittain ja vuosittain, ts. minä vuonna LNG:n vienti alkaa. Aloitusaikajankohdan epävarmuus on huomioitu Iranin ja Saudi-Arabian viennissä teknisesti samalla tavalla kuin putkisiirtolinjojen tapauksessa.
3. LNG:n tuotantokapasiteetti maittain. Käyttäjällä voi halutessaan antaa nämä, jolloin malli ei tee kapasiteettipäätöksiä.
4. Uusien kaasukenttien käyttöönotto. Kenttäkohtaisuus liittyy vain Venäjän uusien kenttien käyttöönottoon. Käyttäjällä määrittelee ensimmäisen mahdollisen käyttöönotto vuoden ja parametrin, jolla määritellään viivästymistä kuvaava to-

dennäköisyysfunktio. Muiden tuottajien kenttien kaasuntuotantoa ohjataan muutamalla parametrilla Kenttädynamiikka-luvussa kuvattavalla tavalla. Näin voidaan huomioida mahdolliset viiveet tuotannon laajentumisnopeudessa.

Tuloksiin voimakkaasti vaikuttavia käyttäjän päätöksiä ovat erityisesti USA:n ja Aasian LNG:n kysynnän kehittymistä kuvaavat tekijät. Alkuarvoina tarvitaan niiden LNG-oston keskiarvo ja minimiarvo kahdenkymmenen vuoden kuluttua. Näistä tekijöistä malli laskee stokastista kysyntää kuvaavat malliparametrit.

1.3 Epävarmuudet

Keskeiset huomioitavat epävarmuudet koskevat tuottajien kaasuresurssien todellista määrää, uusien putkilinjojen rakentamisajankohtaa, uusien kenttien käyttöönoton ajankohtaa, uusien kenttien tuotantokustannusta sekä USA:n ja Aasian LNG-kysyntää siltä osin, kuin se kohdistuu niihin resursseihin, jotka Euroopan kaasunhankinnan kannalta ovat oleellisia. Näiden tekijöiden epävarmuudet kuvataan kunkin epävarmuuden tyyppille soveltuvalla tavalla.

Tuottajien vientimahdollisuuksiin vaikuttavat resurssien määrän lisäksi myös niiden oma kulutus. Kaikkien tuottajamaiden oma kulutus kuvataan samanlaisella stokastisella mallilla kuin USA:n ja Aasian kysyntä. Kaasun määrän epävarmuus liittyy arvioituihin lisävaroihin.

Mallissa huomioidaan seuraavat epävarmuudet:

1. kaasuresurssien määrä kussakin tuottajamaassa
 - a. arvioitujen lisävarojen määrä ja löydöshetki
2. uusien putkilinjojen käyttöönoton ajankohta
 - a. Venäjän efektiivinen vientikapasiteetti Eurooppaan yhteensä
 - b. Nabucco-linjan syöttö Kaspianmeren alueelta
 - c. Nabucco-linjan syöttö Lähi-idän alueelta
 - d. Nigeriasta Eurooppaan halki Saharan
3. Venäjän uusien kenttien käyttöönoton ajankohta ja kustannukset
 - a. Jamalin niemimaa
 - b. merialueiden kentät pohjoisessa
4. muiden tuottajamaiden kuin Venäjän kenttien käyttöönoton nopeus
5. kaikkien tuottajamaiden oman kaasunkäytön kehittyminen
6. LNG:n vientikaupan aloittamisen ajankohta
 - a. Saudi-Arabia
 - b. Iran
7. USA:n ja Aasian LNG-kysyntä.

1. Johdanto

Venäjä on suurin Eurooppaan vievä tuottajamaa, ja sillä on valtavat resurssit, mistä syystä sitä on käsitelty tuottajamaista tarkimmin.

1.4 Mallianalyysin tulokset

Mallin pääasiallinen käyttötarkoitus on maakaasuskenaarioiden realistisuuden tutkiminen ja kaasun hankinnan riskien arvioiminen, riskianalyysi. Se tarkoittaa, että selvitetään, onko tarkasteltavan skenaarion kaasun kulutus tyydytettävissä tunnettujen ja kaasuvarojen ja olemassa olevien ja suunniteltujen tuotanto- ja siirtorakenteiden avulla. Nykytietämyksen valossa kaasua on riittävästi lähivuosisikymmenten arvioidun kulutuksen tyydyttämiseksi. Tarjonnan ja kysynnän eriaikainen kehittyminen johtaa kuitenkin markkinoiden epätasapainoon. Mallilla on tarkoitus tutkia kehitystä yli ajan ja luodata Euroopan kaasunhankinnan mahdollisia tulevaisuuksia ja niiden todennäköisyyksiä.

Mallin käyttö lähtee liikkeelle tärkeimpien asiaan vaikuttavien ulkoisten tekijöiden epävarmuuksien määrittelystä. Mallin käyttäjä tekee tämän antamalla muutamia parametrien arvoja. Näiden määrittelyjen perusteella tehdään tuhansia simuloitteja (Monte Carlo -simulointi), joissa jokaisessa arvotaan käyttäjän määrittelemistä todennäköisyysjakaumista epävarmojen suureiden alkuarvot, joita käytetään tulossuureiden laskennassa.

Koska alkuarvot otetaan jakaumista, saadaan tuhansien ajokertojen jälkeen tulossuureetkin jakaumamuodossa. Tulossuureen jakauma on johdonmukainen seuraus lähtöarvojen jakaumista. Tavoitteena on kattaa mahdollisimman suuri osa mahdollisista tulevaisuuksista ja sen perusteella arvioida Euroopan kaasuntuonnin mahdollisuuksia.

Euroopan kaasun tuontikysyntä kuvataan skenaariotyypillisesti. Sitä ei käsitellä epävarmana suureena, koska pyrkimyksenä on arvioida tuontitarpeen toteutumisen mahdollisuuksia valittujen epävarmuuksien vallitessa. Tässä, kuten mallianalyyseissä yleensäkin, päähuomio on näkemyksessä, joka tuloksista syntyy – ei niinkään luvuissa sinänsä.

2. Kaasun tuottajat

Tuottajalla on periaatteessa mahdollisuus tehdä kolmenlaisia strategisia päätöksiä: kenttien käyttöönottopäätöksiä, tuotteiden tuotantokapasiteetin investointipäätöksiä ja hinnoittelupäätöksiä. Hinnoittelu on mallissa valittu ei-strategiseksi päätökseksi, mikä tarkoittaa, että tuottaja hinnoittelee tuotteen tuotantokustannusten mukaisesti. Kenttien käyttöönotto ja tuotteiden tuotantokapasiteettien laajennukset on mallin käyttäjän päättävä. Siirtoputkien rakentamisajankohdat käyttäjä määrittelee ennen laskennan aloittamista. LNG-tuotanto perustuu joko käyttäjän suoraan antamiin kapasiteetteihin tai mallin kysynnän ja tuotantokyvyn perusteella tekemiin suoraviivaisiin investointipäätöksiin. Tuottajan kuvaus ei sisällä mitään itsenäistä strategista elementtiä. Viiveet kenttien käyttöönotossa voidaan kuvata satunnaismuuttujina, minkä johdosta tuottajat saattavat vaikuttaa strategisilta toimijoilta.

2.1 Tuotteet ja niiden kustannusrakenteet

2.1.1 Tuotteet

Tuottaja tuottaa kolmea tuotetta, jotka ovat tuottajamaan itse käyttämä kaasu sekä vientiin menevät putkikaasu ja nesteytetty maakaasu, LNG (*Liquified Natural Gas*). Vientituotteet ovat loppukäyttäjämarginaalilla Euroopassa toistensa täydellisiä substituutteja: kuluttajan kannalta on samantekevää, tuleeko kaasu Eurooppaan putkea pitkin kaasuna vai nesteytettynä tankkerissa. Vain hinta merkitsee.

Jos tuotteesta ei ole ylikysyntää, sen hinta on sama kuin tuotantokustannus. Jos kysyntä ylittää tuotantokyvyn, hinta nousee tasolle, joka tasapainottaa kysynnän ja tarjonnan.

2.1.2 Kustannusrakenteet

Tuotteet poikkeavat kustannusrakenteeltaan toisistaan. Näitä eroja tarkastellaan seuraavassa. Tuotteiden kustannuksia tarkastellaan yksikkökustannuksina oletetulla kapasitee-

2. Kaasun tuottajat

tin käyttöasteella. Mallissa ei tarkastella investointeja eikä niistä seuraavia tekijöitä, kuten käyttöasteen vaikutusta yksikkökustannuksiin, joten ei ole tarvetta erotella niitä kustannustekijöinä.

Kustannukset oletetaan pitkän aikavälin marginaalikustannuksiksi, LMC (*Long range Marginal Cost*).

Kustannuserät yksikössä eur/MWh putkikaasulle ovat seuraavat:

- kaasun tuotanto ja siirto runkoverkolle, c
- siirtoputkikuljetus, T_P

Kustannuserät yksikössä eur/MWh LNG:lle ovat seuraavat:

- kaasun tuotanto ja siirto nesteytysasemalle, c
- kaasun nesteytys, c_N
- kaasun laivakuljetus, T_L
- lähtö- ja tulosataman terminaalitoiminnot, c_T

Ensimmäinen tuotantovaihe on sama molemmille tuotteille, mutta sen jälkeen kustannusrakenteet eroavat toisistaan. LNG:llä on kaksi kustannuserää, joita ei putkikaasulla ole. Ne ovat nesteytys ja nestemäisen kaasun säilytys- ja käsittelykulut lähtö- ja tulosatamissa.

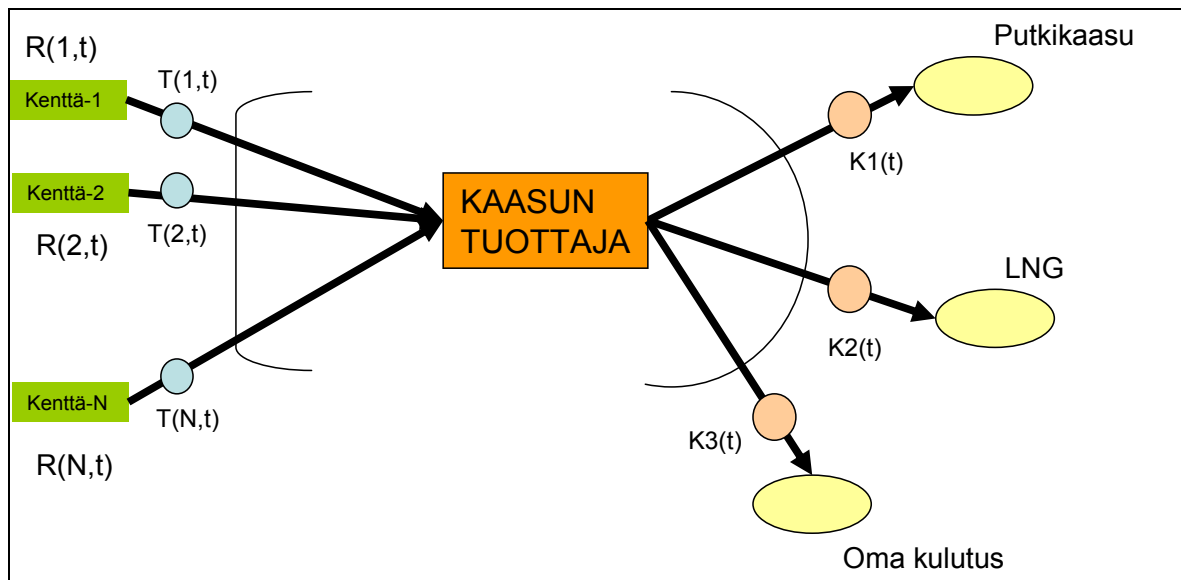
(1) Putki- (P) ja LNG-kaasun (L) yksikkökustannukset:

$$C_P = m_P * c + (1 + k^w) T_P$$
$$C_L = m_L * c + (1 + k^w) [T_L + c_N + c_T]$$

jossa putkikaasun kuljetusketjun siirtohäviöt huomioiva kulutussuhde kaasussa on m_P ja nesteytetylle maakaasulle kuljetus- ja tuotantoketjun kulutussuhde on m_L . Kaasun tuotantokustannuksen oletetaan pysyvän vakiona vuoden ympäri. Talvella kaasun käyttö on suurempaa kuin kesällä, mistä syystä siirtojärjestelmä on mitoitettava talven kulutuksen mukaan. Siirtojärjestelmän kapasiteetikustannuksia kohdennetaan talviajan kaasulle erillisellä kertoimella k^w . Sen laskenta kuvataan Euroopan kaasunkulutusvaihteluita käsittelevässä alaluvussa. Se osaltaan eriyttää talven ja kesän hintatasoja, vaikka ei pyrikkään olemaan asian tarkka kuvaus.

2.2 Päätöksenteko

Tuottajan päätöksentekoympäristö voidaan kuvata esimerkiksi kuvan 2 tavalla:



Kuva 2. Tuottajan kuvaus mallissa. $R(\cdot)$ on resurssimäärä, $G(\cdot)$ on tuotantokyky, $K_i(\cdot)$ on tuotteen tuotantokapasiteetti ja kaaret kuvaavat päätöksentekoa. Vasen kaari viittaa päätökseen kohdentaa kaasun tarve eri kentille ja oikeanpuoleinen viittaa päätökseen kohdentaa tuotettu kaasu eri tuotteiden valmistukseen.

Tuottaja päättää jokaisella aika-askeleella, miten kaasun kysyntä kohdennetaan eri kaasukentille. Jos kaasua on niukasti, on päätettävä, miten tuotettu kaasu jaetaan eri tuotteiden valmistamiseen. Tässä mallissa tuottaja tekee päätöksen kunkin tuotteen tarjonnasta asennetun kapasiteetin ja kenttien kaasuntuotantokyvyn perusteella. Tarjottu määrä on tuotteen toimituskyky. Toimituskyvyn avulla on mahdollista hakea tasapaino yksinkertaisesti tuotemarkkina kerrallaan. Tämän tuotantoon liittyvän päätöksenteon lisäksi tuottajan on ratkaistava, miten kaasuvarojen käyttöä ja tuotteiden tuotantokapasiteettia kehitetään. Nämä ovat strategisia investointipäätöksiä, ja ne ovat tässä yksinkertaisessa mallissa pääosin mallin käyttäjän vastuulla.

Jos tuottajan kaasuresurssit koostuvat useista kentistä, kuten Venäjällä, kenttien käyttöönoton ajankohdat määrittelee käyttäjä. Kaikkien muiden tuottajien kaasuresurssit kuvataan yhtenä kenttänä. Tämä kokonaisresurssi kuitenkin paloitellaan myöhemmin kuvattavalla tavalla virtuaalisiin kenttiin, minkä ansiosta tuotannon laajentaminen tapahtuu askeleittain yksinkertaisen päätössäännön mukaisesti. Käyttäjä voi kuitenkin halutessaan ohittaa tämän ja käsitellä resurssia yhtenä kenttänä.

2. Kaasun tuottajat

Tässä mallissa tuottajien ei oleteta toimivan strategisesti, mikä tarkoittaa, että tuottaja tarjoaa tuotettaan pitkän aikavälin tuotantokustannuksia vastaavalla hinnalla. Markkinat tasapainottava kaasun hinta on kuitenkin kustannushintaa korkeampi, jos kaasutuotteen kysyntä ylittää sen tuotantokyvyn.

2.3 Kenttädynamiikka

Kenttädynamiikka tarkoittaa kaasun varojen, tuotantomahdollisuuksien ja tuotantokustannusten sekä niiden keskinäisriippuvuuden kehittymistä ajan myötä. Tässä luvussa tarkastellaan näitä tekijöitä.

2.3.1 Kaasukentän tuotantokyky

Kaasukentän jäljellä oleva kaasumäärä on dynaaminen suure. Mallissa kaasuresurssin $R(t)$ alkuarvoksi asetetaan tunnetut varat tarkastelun alussa, ja ne vähenevät kaasun tuotannon $q(t)$ myötä. Tunnettujen varojen lisäksi huomioidaan arvioidut lisävarat, vuosiarvo $r^+(t)$ ja yhteensä R^+_0 , joiden käyttöönoton oletetaan noudattavan tuttua S-käyrää (logistinen kasvumalli).

(2) Kentän hyödynnettävissä oleva kaasumäärä:

$$R(t) = R(t-1) - q(t) + r^+(t).$$

Ajanhetki, jolloin puolet lisälöydöistä on tehty, h , on satunnaissuure, joka saa eri arvon jokaisessa ajossa. Sen avulla lasketaan vuosittainen lisälöydös.

(3) Lisälöydösten kumulatiivinen määrä:

$$R^+(t) = \frac{1}{1 + \exp[-g(t-h)]} R^+_0,$$

jossa g on kasvukerroin (hajonta), joka kuvaa jakauman keskittymistä keskiarvon ympärille. Vuosittainen löydösmäärä lasketaan perättäisten kumulatiivisten arvojen erotuksena.

(4) Vuosilöydöksen määrä:

$$r^+(t) = R^+(t) - R^+(t-1).$$

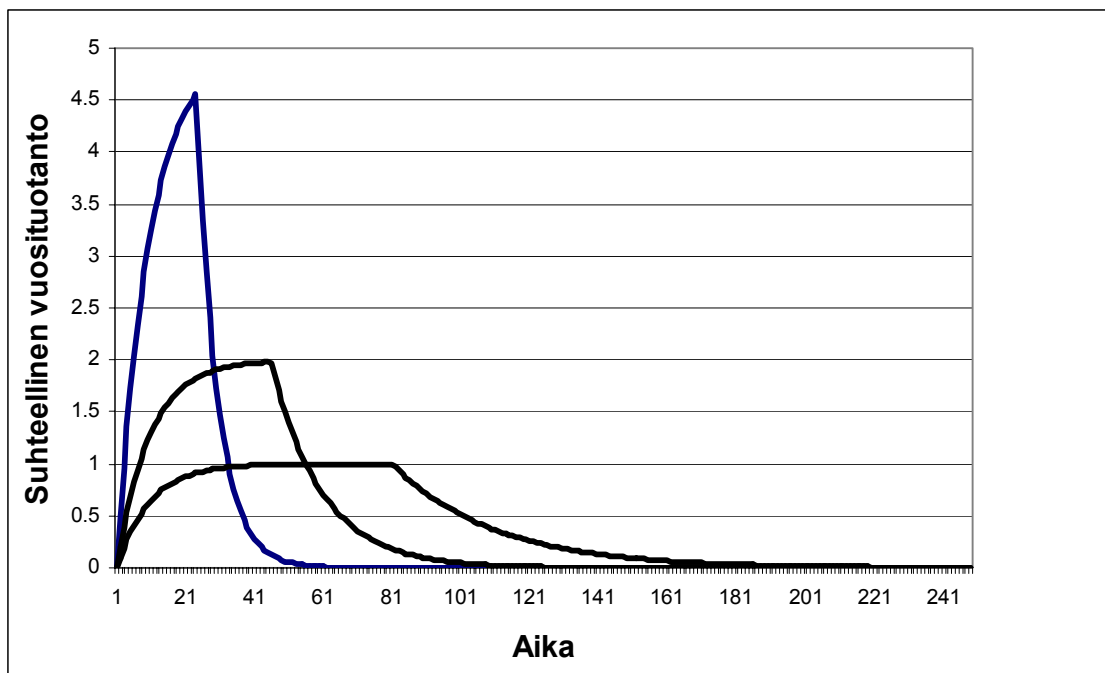
Lisävarojen suuruus on epävarma tekijä, minkä vuoksi se on yksi Monte Carlo -simulointiin valittu varioitava suure. R^+ oletetaan log-normaalisti jakautuneeksi (saa vain positiivisia arvoja). Jakauman keskiarvo ja hajonta ovat käyttäjän antamia arvioita lisävarojen löytämisen luonteesta.

(5) Kentän kokonaisvarat:

$$KR_0 = Q_0 + R_0 + R_0^+,$$

jossa alaindeksi 0 viittaa simuloinnin alkuhetkeen. Q_0 on kumulatiivinen tuotanto, R_0 on tunnetut varat ja R_0^+ on arvioidut lisävarat.

Kuva 3 esittää kentän tuotantokyvyn vaiheet. Niitä on kolme kappaletta (Bentley, 2002): käyttöönottovaihe, jolloin tuotanto alkaa ja ajan myötä saavuttaa vakiotason, rakenteellisen tuotantonopeuden, joka on asennetun tuotantokapasiteetin mukainen; ja lopuksi tuotannon vähenemisen vaihe, kun kumulatiivinen tuotanto saavuttaa kynnyksrajaa Q^* . Jos tavoiteltu tuotantotaso on kovin korkea, ei tasaisen tuotannon vaihetta saavuteta välttämättä lainkaan vaan kasvavasta tuotantomäärästä siirrytään suoraan vähenevän tuotannon vaiheeseen. Vakiotuotantovaihe kuvaa tuotantokapasiteetin asettamaa tuotantorajoitusta. Koska tuotantoinvestoinnit ovat suuria, tuotantonopeuden ja tuotannon ajallisen keston välille muodostuu jokaisella kentällä toimijan mukainen tasapaino.



Kuva 3. Kentän tuotantovaiheet ja kapasiteetin mukainen tuotantokatto. Alimman käyrän vuosituotanto on 1 % kentän kaasisisällöstä, keskimmaisella käyrällä 2 % ja korkeimmalla käyrällä 5 %. Kaikissa tapauksissa kenttä siirtyy alenevaan tuotantovaiheeseen, kun 70 % kentän kaasisisällöstä on tuotettu.

Kaasukentän kumulatiivinen tuotanto Q_t määritellään kentän avaamisesta $t = 0$ lähtien (ei siis simuloinnin alusta) tarkasteluhetkeen saakka kertyneeksi tuotantomääräksi.

2. Kaasun tuottajat

(6) Kumulatiivinen tuotanto:

$$Q_t = \sum_{l=0}^t q_l .$$

Vuotuinen tuotantomäärä q_t lasketaan sen mukaan, kuinka paljon kysyntää eri tuotteissa kunakin hetkenä on. Se kuvataan tuonnempana.

Kaasun tuotantokyky $G(t)$ muuttuu kumulatiivisen käytön $Q(t)$ ja jäljellä olevan kaasumäärän $KR(t)$ mukaan ja se kuvataan seuraavin yhtälöin.

(7a, b) Kentän tuotantokyky:

$$G(t) = \begin{cases} G^A(t) = \alpha V(t) + (1 - \alpha)G(t-1), & \text{kun } Q(t) \leq Q^* \\ G^B(t) = w r KR(t), & \text{kun } Q(t) > Q^* \end{cases}$$

Ylempi yhtälö (A) kuvaa tuotannon alkuvaiheen nousukautta. Tuotantokyky voi nousta enintään rakenteellisen tuotantonopeuden, $V(t)$, tasolle. Se kuvaa kentälle asennettujen tuotantorakenteiden kapasiteettia. Tuotantonopeus V mitataan suhteellisenä tuotantomääränä vuodessa resurssin koko määrästä K , siis vuodessa tuotettu määrä osuutena koko resurssin määrästä, esimerkiksi 2 %. Parametri α kuvaa nopeutta, jolla rakenteellinen tuotantonopeus V saavutetaan. Jälkimmäinen yhtälö, yhtälö B, tarvitaan, koska tuotannon laskuvaiheessa tuotantokyky riippuu vain jäljellä olevasta kaasun määrästä. Se kuvaa eksponentiaalisesti laskevaa tuotantoa, jossa $KR(t)$ on jäljellä oleva kaasumäärä hetkellä t .

(8) Jäljellä oleva kaasumäärä:

$$KR(t) = KR_0 - Q(t) .$$

Jos t^* kuvaa ajanhetkeä, jolloin tuotannon kumulatiivinen arvo on juuri saavuttanut moodivaihtotilan, ts. $Q(t) = Q^*$, voidaan suhteellisin arvoin kirjoittaa $KR(t^*) = 1 - Q^*$. Tuotantokerroin r on parametri, joka kuvaa tuotannon laskuvaiheessa jäljellä olevasta kaasumäärästä vuodessa tuotettua määrää. Se lasketaan tavoitetuotannon ja kentän moodivaihdoksen suhteesta seuraavasti.

(9) Tuotantokerroin:

$$r = \frac{V(t^*)}{1-Q^*} = \frac{V(t^*)}{KR^*}.$$

Moodinvaihdoksessa täytyy päteä: $G^A = G^B$, eli

(10) Tuotantotilan vaihdos:

$$G^B(t^*) = wr KR(t^*) = w \frac{V(t^*)}{KR(t^*)} KR(t^*) = G^A(t^*).$$

Nyt tarvitsee vain järjestellä termit ja saadaan yhtälö parametriarvon määrittämiseksi.

(11) Laskuvaiheparametri:

$$w = \frac{G^A(t^*)}{V(t^*)}.$$

Jos tuotanto on ehtinyt saavuttaa rakenteellisen tuotantonopeuden V , saa w arvon yksi. Muulloin se on ykköstä pienempi.

Tärkein kentän tuotantodynamiikkaa kuvaava parametri on tavoiteltu vuosituotantomäärä $V(t)$. Se kuvaa kapasiteettirajoituksia kaasun tuotantojärjestelmässä. Tuotantomäärä voidaan lausua prosenttiosuutena kentän kaasumäärästä. Tällöin se voidaan määrittellä vaikkapa tutulla resurssin ja tuotannon suhteella R/P . Jos valitaan, että R/P on tuotannon tasankovaiheessa 30 vuotta, sitä vastaa v :n arvo 3,3 % ($=1/30$).

Rakenteellinen tuotantonopeus, tai vuosituotantomäärä, $V(t)$, ja vaikuttaa tuotantokustannuksen nousun määrään, kun kenttä alkaa ehtyä. Tästä lisää alaluvussa Kaasun tuotantokustannus.

2.3.2 Uusien kenttien käyttöönotto ja laajentaminen

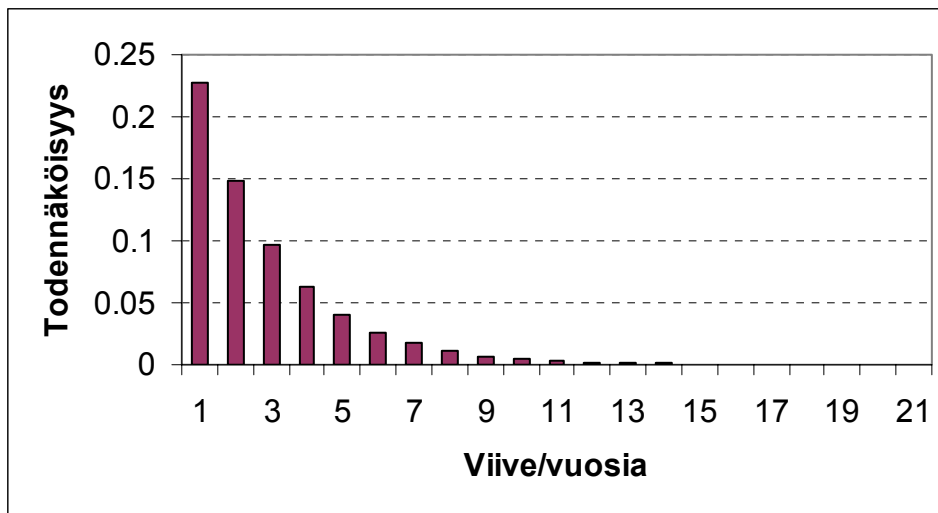
Jos tuottajamaalle on mallissa nimetty erillisiä kaasukenttiä, uuden kaasukentän käyttöönotto on strateginen päätös, jonka mallin käyttäjä tekee. Mallissa uusia kenttiä on määritelty vain Venäjälle. Muissa tuottajamaissa kenttien resurssit on laskettu yhteen, mutta tuotannon laajennus myös tällaisessa ympäristössä on askelittaista, ks. alla. Venäjän uudet nimetyt kentät ovat valtavia. Siksi niihin sovelletaan erikseen samaa askelittain etenevää käyttöönottopataa kuin kuiden maiden kokonaisresursseihin.

Koska Venäjän uudet kentät Jamalin niemimaalla ja sitä ympäröivällä merialueella sekä Stokmanin kenttä Barentsinmerellä sijaitsevat luonnonolosuhteiltaan arktisilla alueille, niiden käyttöönotto on vaikeaa. Tämän vuoksi niiden käyttöönottoajankohta on

2. Kaasun tuottajat

väistämättä epävarma. Uusien kenttien käyttöönottoajankohdat on siksi valittu Monte Carlo -simulointiin erääksi epävarmojen suureiden ryhmäksi.

Käyttäjä määrittelee vuoden, joka on ensimmäinen mahdollinen käyttöönoton ajan-kohta, ja antaa todennäköisyyden, joka kuvaa aikataulun pitävyyden todennäköisyyttä. Epävarmuus kuvautuu kokonaislukuna, joka kertoo, monenko vuoden viive tulee, ennen kuin tuotanto saadaan käyntiin. Sovellettava todennäköisyysjakauma on tässä geometri- nen jakauma, jonka tiheysfunktioista on ohessa esimerkki (ks. kuva 4).



Kuva 4. Geometrisen jakauman todennäköisyystiheysfunktio. X-akselina on viiveen pituus ja y-akselilla todennäköisyys.

Geometrinen jakauma kuvaa tarvittavien yritysten lukumäärää ennen kuin onnistunut yritys esiintyy. Esimerkiksi kuinka monta reikää pitää porata ennen kuin löytyy öljyä tuotettavaksi, tai montako kertaa täytyy rulettipyörää pyöryttää ennen kuin voitto tulee.

Jos maan kaasuvaroja kuvataan yhdellä kentällä, sen käyttöä laajennetaan askeleittain. Kentän laajennusta kuvataan hyppäyksellisellä rakenteellisen tuotantonopeuden V :n arvon muutoksella, johon tuotantokyky G mukautuu kaavan 7 kuvaaman dynamiikan mukaisesti. Kaasuresurssit oletetaan otettavan käyttöön N vaiheessa. Yksinkertaisuuden vuoksi määritellään, että laajennus on aina samansuuruinen, ΔV . Kun suurinta mahdollista rakenteellista tuotantokykyä merkitään V^x , laajennusaskeleen suuruus lasketaan sen ja alkutilanteen rakenteellisen tuotantonopeuden avulla seuraavasti.

(12) Kentän laajennuksen yksikköko:

$$\Delta V = \frac{1}{N} [V^x - V(0)],$$

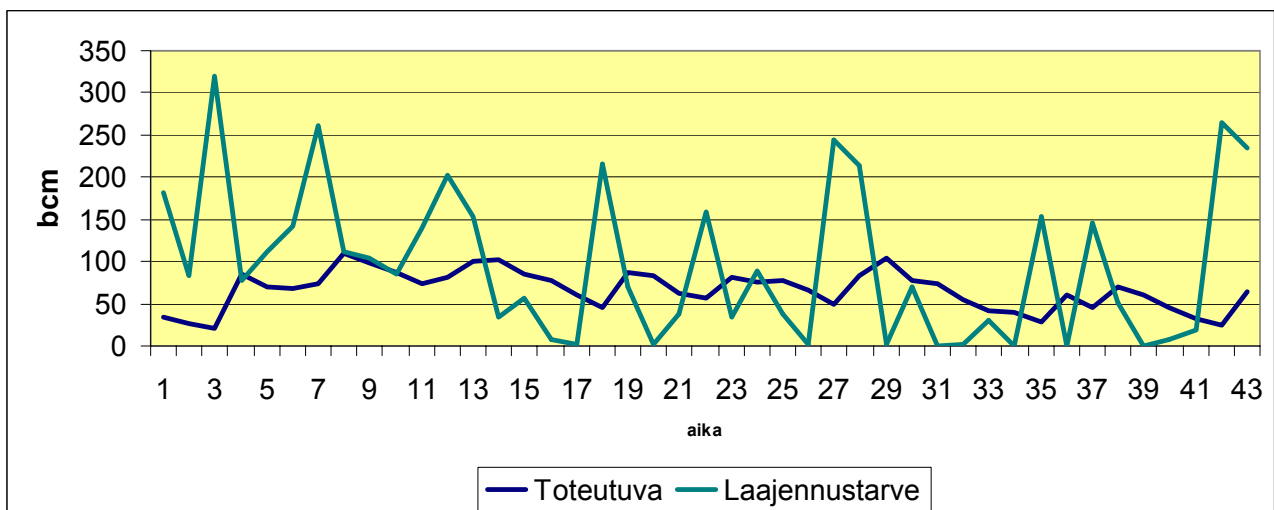
jossa $V(0)$ on arvioitu tai toteutunut rakenteellinen tuotantonopeus hetkellä $t = 0$.

Kaasuntuotannon kapasiteettilaajennus tehdään, jos kentän tuotantokapasiteetin ja kaasun tarpeen suhde lähestyy ykköstä, ts. jos kapasiteetti uhkaa käydä niukaksi. Tuotannon laajentaminen on mahdollista kuitenkin vain, jos kentän resurssit riittävät ja edellisestä laajennuksesta on kulunut riittävän pitkä aika T_v .

(13a) Kentän laajennus:

$$\left. \begin{array}{l} V(t) \leq \omega DG(t) \\ Q(t) \leq Q^* \\ t^+ + T_v \leq t \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{cases} V(t+1) = V(t) + \Delta V \\ t^+ = t+1 \end{cases}$$

Kriteeriparametriksi (ks. kaava 29) voidaan valita esimerkiksi $\omega = 1/0,9$, eli kun kentän suunniteltu tuotantokyky ylittää enää 11 % kaasun tarpeen, tehdään laajennusinvestointi. Toimituskyky-käsitteen käytöstä johtuen alkuperäinen kysyntä ei välity kentälle saakka, vaan se leikkautuu allokointiprosessissa tuotantokyvyn perusteella. Siksi päätös kaasuntuotannon askelmaisesta laajentamisesta tehdään ennen kuin niukkuus toteutuu. t^+ on edellisen laajennuksen aloitusvuosi. Kaasun tuotantokyvyn dynamiikka, kaava (7), yhdistettynä kentän laajennuksen ehtoihin tasoittaa laajennustarvevaatimukset kuvan 5 mukaisesti.



Kuva 5. Kaasun tuotannon hetkellinen laajennustarve ja kaasun tuotantokyvyn vuosimuutos (toteutuma) perusuralla.

Vuosiarvoista laskettu tuotannon laajennustarve tasoittuu kuvan 5 mukaan sangen tasaiseen tuotantokyvyn kehitykseen.

2. Kaasun tuottajat

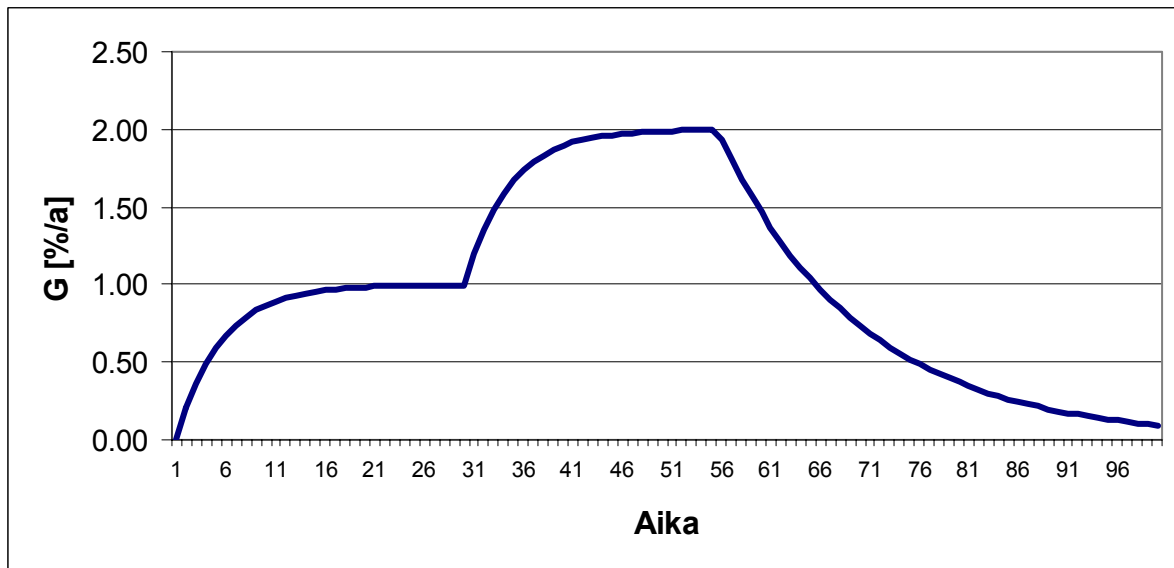
Kuvassa 6 on esitetty kaksivaiheinen kentän kaasuvarojen hyödyntäminen. T_v on minimiviive peräkkäisten kentän laajennusinvestointien aloittamisessa. Se lasketaan kentän tuotantokyvyn kehittymisen ”puoliintumisajan” (kaava 7) perusteella.

(13b) Kentän tuotantokapasiteetin kasvattamisen puoliintumisaika:

$$h = \frac{\ln(\frac{1}{2})}{\ln(1-\alpha)}$$

Tätä arvoa, tai esimerkiksi sen monikertaa, voidaan käyttää T_v :n arvona kaavassa 13. Tehdyt simuloinnit vahvistavat, että viiveen pituuden ja kerralla laajennettavan kapasiteetin määrällä on oleellinen merkitys tuloksiin. Joustava eli kysyntää hyvin seuraava tarjonta, siis lyhyt viive ja suuri kertalaajennus, johtaa hyvään saatavuuteen ja tuotantokustannuksia seuraavaan hintaan. Jos taas viive on pitkä ja yhdellä kerralla tehtävä kapasiteettilaajennus on pieni (N on suuri), tarjonta laahaa kysynnän perässä aiheuttaen hinta- ja saatavuusongelmia.

Simuloinnin alkuhetkellä on arvioitava käytössä olevien kenttien siihenastinen kumulatiivinen tuotanto. Lisäksi on tiedettävä kentän kokonaisvarat ja arvioidut lisävarat.



Kuva 6. Kentän tuotantokyky, kun se otetaan käyttöön kahdessa vaiheessa.

2.3.3 Kaasun tuotantokustannus

Kenttäkaasuksi kutsutaan tässä kentällä tuotettua kaasua, joka on valmis jatkojalostukseen. Jatkojalostuksen tuloksena se muuttuu yhdeksi kolmesta tuotteesta. Kenttäkaasun tuotantokustannus ei sisällä kaukosiiirron eikä nesteytyksen kustannusta. Kenttäkaasun

tuotantokustannus kasvaa, kun tuotanto kääntyy laskuun. Se johtuu siitä, että asennetulla tuotantokalustolla saadaan yhä vähemmän kaasua tuotettua. Kaikki kustannuserät ovat entiset, mutta ne jaetaan yhä pienemmälle tuotantomäärälle. Sen vuoksi yksikkökustannukset nousevat.

Kustannukset alkavat kasvaa, kun tuotanto kääntyy laskuun. Kustannusten kasvu lasketaan tuotantonopeuksien suhteena, jossa osoittajassa on tuotantonopeus käännepis- teessä ja nimittäjässä tuotantonopeus tarkasteluhetkellä. Tätä suhdetta sieventämällä päästään yksinkertaiseen laskentakaavaan:

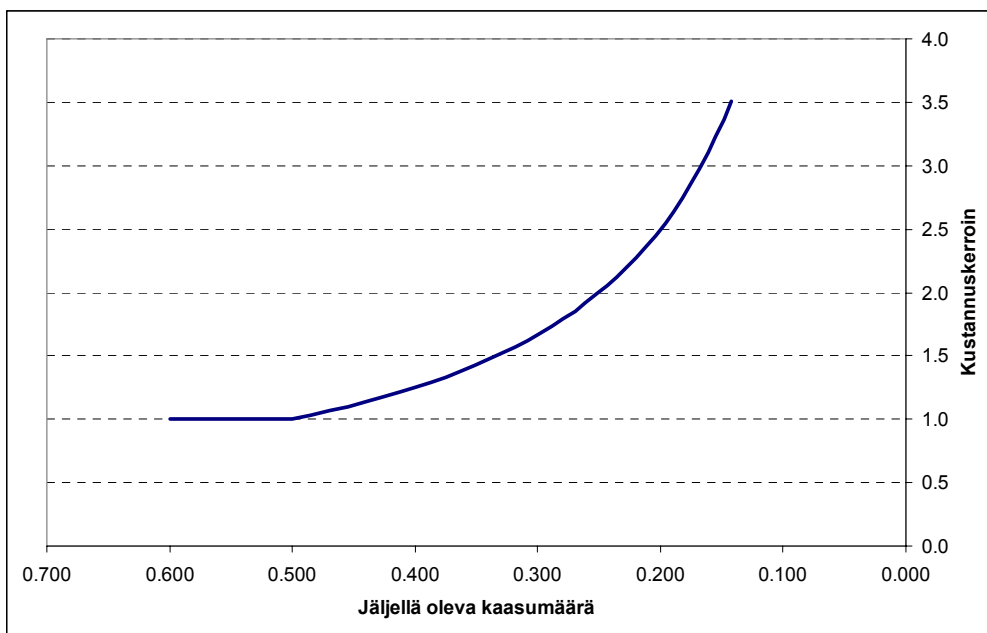
$$\frac{G^A(t^*)}{G^B(t)} = \frac{G^A(t^*)}{wrKR(t)} = \frac{G^A(t^*)}{\frac{G^A(t^*)}{V(t^*)} \frac{V(t^*)}{KR(t^*)} KR(t)} = \frac{KR(t^*)}{KR(t)}.$$

(14) Kenttäkaasun kustannuskerroin:

$$k(t) = \max \left\{ 1, \frac{KR(t^*)}{KR(t)} \right\}.$$

Maksimioperaattori tarvitaan pitämään kustannukset oikean suuruisina ennen laskuvaiheen tuotantotilanteen syntyä.

Kun kentän tuotanto alkaa vähentyä kumulatiivisen tuotannon ylittäessä 50 % kentän kokonaiskaasumäärästä, kustannuskertoimen ja tuotetun kaasumäärän välinen yhteys näyttää kuvan 7 mukaiselta:



Kuva 7. Kentän tuotantokustannuksen ja jäljellä olevan kaasumäärän välinen yhteys.

2. Kaasun tuottajat

Tätä samaa tuotantokustannusten ja kumulatiivisen tuotannon välistä suhdetta kuvaavaa funktiota käytetään kaikkien kenttien tuotantokustannusten laskennassa. Kullakin kentällä on ominaistuotantokustannuksensa c , jota kerrotaan tällä kenttäkertoimella, jolloin saadaan toteutuva tuotantokustannus.

(15) Kaasun tuotantokustannus:

$$C(t) = c * k(t).$$

Kun tuotanto tapahtuu usealla nimetyllä kentällä, lasketaan tuotantokustannus seuraavasti:

(16) Monikenttäisen tuottajan kaasun tuotantokustannus:

$$\rho_j(t) = \frac{G_j(t)}{\sum_j G_j(t)}$$
$$C(t) = \sum_j c_j k_j(t) \rho_j(t)$$

Tuotantokustannus on siis hetkellisellä tuotantokyvyllä painotettu keskiarvo kenttien tuotantokustannuksista.

2.4 Toimituskyky

Toimituskyky-käsitteen avulla vältetään tasapainon laskennassa muutoin välttämätön kaiken kysynnän ja tarjonnan yhtäaikainen tarkastelu. Se helpottaa oleellisesti tasapainon laskentaa.

Tuottajan toimituskyky tuotteessa i on se määrä lopputuotetta, jonka tuottaja pystyy tuottamaan ja siirtämään kulutuskohteeseen. Vientituotteissa kulutuskohteeksi määritellään Euroopan reuna. Lopputuotteet ovat tuottajamaan oma kaasun kulutus ja vientiin menevät putkikaasu ja LNG-kaasu. Kaasun omakäytön tuottajamaassa oletetaan sisälttävän tuotantoketjun häviöt. Vientituotteissa häviöt huomioidaan eksplisiittisesti.

Toimituskykytarkastelussa selvitetään se, onko kentiltä saatavissa kaasua lopputuotteen tuotanto- ja siirtokapasiteetin mukainen tai vähäisempi määrä kaasua. Kaasun kysyntä leikkautuu markkinatasapainoa laskettaessa enintään siirtokapasiteetin suuruiseksi, kuten myöhemmin kuvataan. Kapasiteetti tarkoittaa siten siirtoputkien kapasiteettia, LNG-nesteytyskapasiteettia ja tuottajamaan oman jakeluverkon kapasiteettia. Tuottaja-

maan oman kulutuksen kapasiteetiksi otetaan kyseisen vuoden kulutuskysyntä. Loppu-
tuotteiden määrää laskettaessa huomioidaan kaikki häviöt kentältä kulutuspisteeseen.

Normaalitilanteessa kaasua riittää kapasiteetin mukaiseen toimitukseen. Tällöin toimi-
tuskyyky on sama kuin asennettu tuotantokapasiteetti. Tuotanto voi olla tätä alhaisempi,
sillä toteutuva kysyntä ratkeaa markkinavuorovaikutuksessa, jota kuvataan myöhem-
min. Jos kaasun tuotettavissa oleva määrä rajoittaa olemassa olevaa siirto- ja jakeluka-
pasiteetin täysimääräistä hyödyntämistä, kaasun toteutuva tuotanto allokoidaan tuotteille
hintajousto ja kysyntä huomioiden. Kun hintariippuvat kysyntäfunktiot linearisoidaan,
tulos voidaan laskea ilman iterointia.

2.4.1 Toimituskyyvyn laskenta

Tuotteiden tuotantomäärien sopeuttaminen tehdään tuotekapasiteettien K_i mukaisessa
toimintapisteessä olettaen kysyntöjen olevan hintariippuvia. Kaavassa 17 korostetaan
yläindeksillä 0 sitä, että tarkastelu tehdään nimelliskapasiteettitilanteessa eikä markki-
nakysynnän mukaisessa tilanteessa. Tuotekysyntä muutetaan kaasun tuotantotarpeeksi
kaasukentällä. Tämä tarve voi ylittää tuotantokyyvyn. Jos näin käy, tuotteen toimituskyy-
kyä leikataan alla kuvattavalla tavalla.

(17) Kaasun tuotantotarve asennetun siirtokapasiteetin mukaisessa tilanteessa:

$$DG = \sum_{i=1}^3 m_i K_i = \sum_i DG_i^0 = \sum_{i=1}^3 \alpha_i DG, \quad \text{kun } \alpha_i = \frac{DG_i^0}{DG}.$$

Osuusparametri α viittaa nyt siis (raaka)kaasun tarpeesta laskettuun osuuteen, ei tuote-
osuuteen. m_i on kulutussuhde kaasussa, eli kaasun tarve yhtä tuoteyksikköä kohden

Tuotteen raaka-ainetta, kaasua, voidaan tuottaa kenttädynamiikkayhtälön mukaisesti
määrä G tuotteiden tuottamiseen. Jos se ei riitä, on tuotteita tuotettava vähemmän kuin
niiden tuotantokapasiteetti mahdollistaisi.

(18) Kaasun käytön vähennystarve:

$$\Delta DG = \max \{0; DG - G\} = \sum_{i=1}^3 \Delta DG_i.$$

Tuotteiden tuotantokapasiteettiin liittyvän kysynnän sopeutumistarve johtuu kaasun
niukkuudesta, vajeesta ΔDG , joka määritellään osuutena alkuperäisestä kysynnästä.

2. Kaasun tuottajat

(19) Kaasun käytön suhteellinen vähentämistarve:

$$\frac{\Delta DG}{DG} = \theta.$$

(20) Hintajouaston ε määritelmä:

$$\varepsilon_i = \frac{\frac{\Delta DG_i}{DG_i}}{\frac{\Delta P}{P}} \Rightarrow \Delta DG_i = \varepsilon_i \frac{\Delta P}{P} DG_i.$$

Merkitään kaasun hintamuutosta symbolilla $\phi = \frac{\Delta P}{P}$. Tällöin

$$\Delta DG_i = \varepsilon_i \phi DG_i = \varepsilon_i \phi \alpha_i DG.$$
 Koska

$\Delta DG = \sum_i \Delta DG_i = \sum_i \varepsilon_i \phi DG_i = \sum_i \varepsilon_i \phi \alpha_i DG = \phi DG \sum_i \varepsilon_i \alpha_i$, voidaan hintamuutos lausua vähennystarpeen, hintajouaston ja markkinaosuuksien avulla:

(21) Suhteellinen hintamuutos:

$$\phi = \frac{\theta}{\sum_i \varepsilon_i \alpha_i}.$$

Kun suhteellinen hintamuutos on laskettu, voidaan laskea

(22) Tuotteen i tarvitseman kaasumäärän sopeuttamistarve:

$$\Delta DG_i^K = \phi \varepsilon_i DG_i^K.$$

Toimituskyky kussakin tuotteessa saadaan nyt yksinkertaisesti:

(23) Toimituskyky tuotteessa i :

$$S_i^X = \frac{1}{m_i} [DG_i^K - \Delta DG_i^K].$$

Kaasua riittää tuotteen i tuottamiseksi määrä S_i^X . Kaasun toteutuva tuotantomäärä laskeaan myöhemmin markkinatilanteen mukaisen kysynnän perusteella. Vaikka toimituskyvyn laskennassa todetaan, että tuottaja ei pysty käyttämään asennettua tuotekapasiteettia täysimääräisesti, saattaa kaasun tuotettavissa olevaa määrää silti riittää hyvin markkinaehtoisesti määräytyvään toimitukseen. Tällöinhän vientikapasiteetit korvautuvat toteutuvalla vientikysynnällä.

Koska malli rakentuu siten, että kunkin tuottajan hetkellinen tuotantokyky huomioidaan jo markkinatarjonnassa ja kaasun tuotantokapasiteetti huomioidaan tuotekapasiteetin rakentamisessa, ei alkuperäinen markkinakysyntä välity kaasukentälle. Sen vuoksi täytyy toimitusketjun laajennusinvestointeihin ryhtyä jo siinä vaiheessa, kun kysyntä lähestyy kaasun toimituskykyä.

(24) Kaasukentän toimituskykykerroin:

$$\frac{V(t)}{DG(t)} = \omega.$$

Tätä suhdetta käytetään yhtälössä 13a kaasukentän laajenuksesta päätettäessä. Koska kentän tuotantokapasiteetin laajentaminen kestää aikansa, on oikea kriteeri kentän kaasuntuotannon laajentamiselle rakenteellinen tuotantomäärä $V(t)$, johon tarkasteluhetken hanke päättyy, eikä hetkellinen tuotantokyky $G(t)$.

2.4.2 Kaasun toteutuva tuotanto

Kaasun tuotanto kaasukentällä seuraa kaasutuotteiden kysyntää. Kaasutuotteiden toimituskyky kuvaa tuotteiden maksimituotannon määrää, mutta hetkellinen kysyntä voi kuitenkin poiketa siitä alaspäin. Mallissa ratkaistaan ensin vientituotteiden, putkikaasun ja LNG:n, toteutuvan tuotannon vaatima kaasun määrä. Se on enintään toimituskykylaskennan mukainen, eli kaikkia tuotteita voidaan tuottaa vähintään toimituskykylaskennan mukainen määrä. Sen jälkeen vielä tarjolla oleva kaasuntuotanto voidaan ohjata kotimaan kulutusta tyydyttämään. Tämä tarkoittaa sitä, että vaikka toimituskykylaskennassa jouduttaisiin toimitusta eri markkinasegmenteille rajoittamaan, käytännössä voi olla niin, että kaikkia tuotteita on tarjolla niiden kysyntää vastaava määrä.

Resurssitarve lasketaan tuotekysyntöjen D^i mukaan seuraavasti.

2. Kaasun tuottajat

(25) Vientituotteiden kaasuntarve:

$$q_t^i = m_i D_t^i, \quad i = 1, 2.$$

(26) Kotimaan kaasun käyttö:

$$q_t^3 = \min \left\{ G_t - \sum_{i=1}^2 m_i D_t^i; m_3 D_t^3 \right\}.$$

Kerroin m_i on kaasun kulutussuhde tuotteessa i , siis kuinka paljon kaasua kuluu yhden tuoteyksikön toimittamiseen asiakkaalle. Kotimaan kulutuksen oletetaan sisältävän verkostohäviöt yms., mutta putkikaasun ja nesteytyksen häviöt huomioidaan.

(27) Kaasun käyttö yhteensä:

$$q_t = \sum_{i=1}^3 q_t^i.$$

(28) Kaasun kumulatiivinen käyttö:

$$Q_t = Q_{t-1} + q_t.$$

Kun kenttä on otettu käyttöön, sen tuotantokyky kehittyy kenttädynamiikan mukaisesti. Kaasun tuotantarve jaetaan kentille niiden päätöksentekohetken tuotantokyvyn mukaan:

(29) Tuotantarpeen jako kentille:

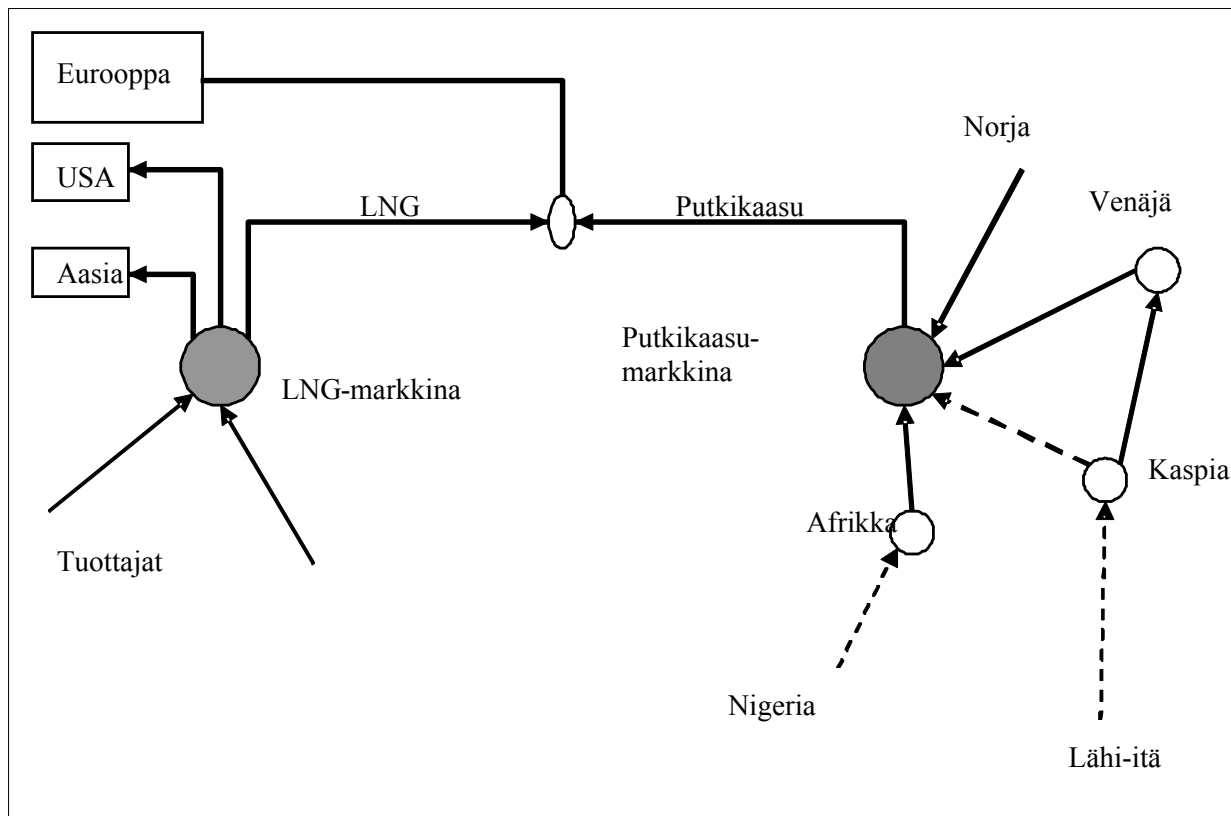
$$q_t^i = \frac{G_t^i}{\sum_i G_t^i} D_t^i,$$

jossa G^i on kentän i tuotantokyky hetkellä t ja D_t^i on tarkasteltavan tuottajan kohtaama kaasun kysyntä ko. ajanhetkellä.

2.5 Siirtoinfrastruktuuri

2.5.1 Putkisiirtolinjat

Putkikapasiteetilla tarkoitetaan tässä Eurooppaan tulevia putkikaasulinjoja sopivasti yhdistettyinä. Mallissa putkilinjat on määritelty siten, että Eurooppaan tulee tällä hetkellä kolme linjaa. Ne tulevat Venäjältä, Norjasta ja Pohjois-Afrikasta. Näiden kapasiteetteja voi käyttäjä muuttaa haluamallaan tavalla. Lisäksi voidaan rakentaa uusi putkilinja Nabucco Turkista Balkanin läpi Keski-Eurooppaan. Sitä syöttävät Kaspianmeren alueen maat ja mahdollisesti myös Lähi-idän tuottajat. Pohjois-Afrikan tuotantoa voidaan vahvistaa putkella Nigeriasta Saharan poikki. Tämän linjan tuotanto tulee Eurooppaan Pohjois-Afrikan ja Euroopan välisiä putkia pitkin. Linjat ovat kuvan 8 mukaiset:



Kuva 8. Euroopan kaasunhankinnan rakenne ja kilpailuasetelma LNG:ssä. Katkoviivat kuvaavat mahdollisia reittejä.

Käyttäjä määrittelee uudelle putkikapasiteetille käyttöönottoajankohdan. Tähän ajankohtaan liittyy kuitenkin merkittäviä epävarmuuksia, sillä tämän kaltaisille suurille infrastruktuurihankkeille aikatauluviivästyksset eivät ole mitenkään epätavanomaisia. Sen

2. Kaasun tuottajat

vuoksi viivästyminen määritellään Monte Carlo -simuloinnissa epävarmaksi tekijäksi: oletettuun käyttöönottoajankohtaan lisätään viive, joka arvotaan käyttäjän määrittelemästä geometrisestä jakaumasta. Syöteparametriksi tarvitaan todennäköisyys, joka skaalaa jakauman muotoa. Tämä on sama viivästymismalli, jota käytetään kenttien käyttöönoton kuvaukseen.

Putkilinjojen kustannukset jaetaan kahteen osaan: kentältä virtuaaliseen koontipisteeseen ja tästä pisteestä Euroopan markkinoille. Viimeksi mainittu siirtokustannus oletetaan tunnetuksi. Kustannukset uusien kenttien tuotannon siirtämisestä nykyiseen siirtoverkkoon kohdennetaan kentän tuotantokustannuksiin, jotka oletetaan epävarmoiksi. Niille siis määritellään todennäköisyysjakauma, josta joka ajon aluksi arvotaan yksi mahdollinen kustannustaso. Tämä tuo yhden epävarmuustekijän putkikaasun hintaan. Toistaiseksi vain Venäjän uusien kenttien tuotantokustannuksia käsitellään epävarmoina suureina. Se johtuu siitä, että uudet suuret tuotantoalueet sijaitsevat kaasun tuotannon kannalta hankalissa paikoissa eikä tuotantokustannuksista ole sen vuoksi varmuutta.

2.5.2 LNG:n siirtojärjestelmä

LNG:n siirto edellyttää riittävää laivastoa ja vastaanottokapasiteettia. Laivojen kuljetuskapasiteettia ei mallissa huomioida eksplisiittisesti, vaan laivojen lukumäärän oletetaan seuraavan nesteytyskapasiteettia. Euroopan LNG-vastaanottokapasiteetti on nykyään noin kaksinkertainen viimeaikaiseen todelliseen LNG:n ostoon verrattuna, ja samanlaisena tilanteen oletetaan säilyvän jatkossakin. Malli kylläkin tarkastelee vastaanottokapasiteetin määrää, kuten LNG-markkinaluvussa kuvataan, mutta oletuksena on, että vastaanottokapasiteettia rakennetaan riittävästi eikä se näin ollen muodosta estettä LNG:n laajallekaan käytölle. Näin oletetaan tilanteen olevan myös muilla ostajilla, USA:ssa ja Aasiassa.

3. Kaasun kuluttajat

Euroopan kaasun hankinta jaetaan putkikaasuun ja nesteytettyyn maakaasuun, LNG:hen. Jako on tärkeä, sillä maakaasumarkkina jakautuu Euroopassa näihin kahteen osa-alueeseen, jotka toimivat toisistaan poikkeavalla tavalla.

Mallissa kaasun kuluttajat jakautuvat kolmeen ryhmään: Eurooppaan, Euroopan kanssa LNG-toimituksista kilpaileviin USA:n ja Aasian kulutukseen ja kaasun viejäm maiden omaan kulutukseen. Jokaisella ryhmällä on omat erityispiirteensä. USA:n ja Aasian LNG-kulutuksesta kuvataan mallissa vain se osa, joka näkyy Atlantin/Lähi-idän alueen LNG-markkinalla, jolta Eurooppa LNG:nsä hankkii. Mainitut toimijat kilpailevat siis samasta kaasusta Euroopan kanssa. USA:n ja Aasian kulutuksen oletetaan kehittyvän mallissa stokastisesti. Se on LNG-markkinoihin merkittävimmin vaikuttava epävarmuus.

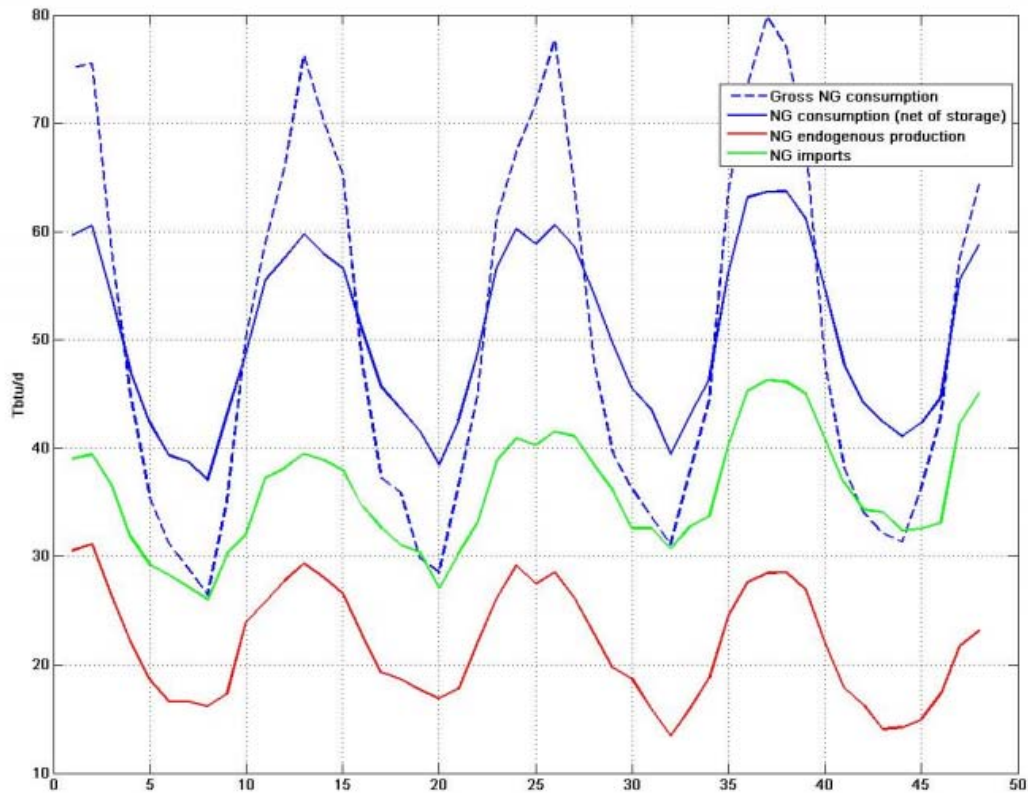
3.1 Euroopan kaasunkulutus

Eurooppa koostuu EU-alueesta. Muutkin Euroopan määritelmät ovat mahdollisia: kysymys on pitkälti siitä, miten lähtötietoja on tarjolla. Euroopan kaasunkulutus on keskeinen mallin lähtötieto ja analyysia ajava tekijä. Malli on suunniteltu erityisesti tukemaan tarkasteluja, joissa selvitetään, miten Euroopan kaasunkäytöskenaariot voivat toteutua ulkoisten tekijöiden muutoksissa.

3.1.1 Kaasun käytön vuodenaikavaihtelut

Kaasun käyttö vaihtelee vuodenaikojen mukaan voimakkaasti, kuten kuva 9 esittää.

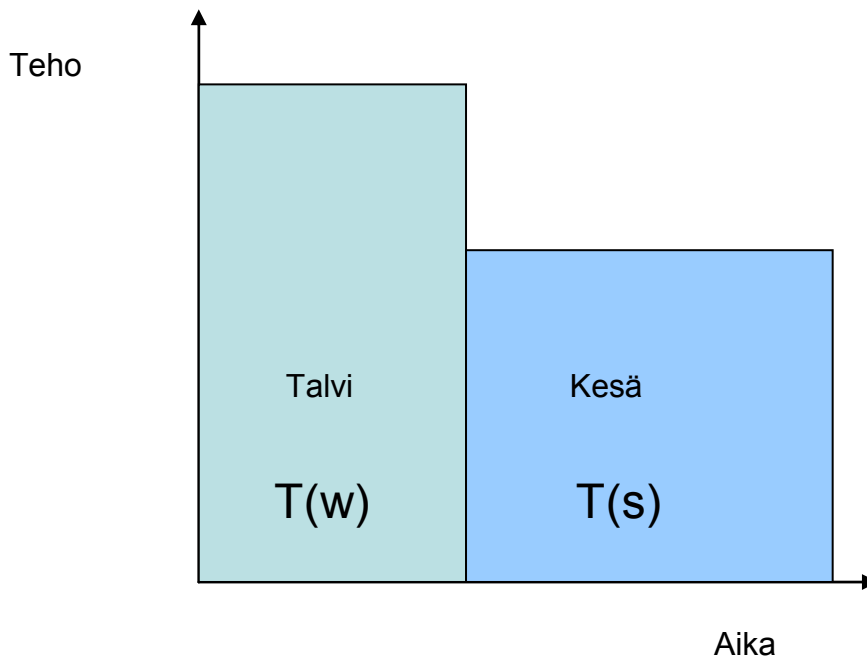
3. Kaasun kuluttajat



Kuva 9. Kaasun käyttö Euroopassa (Tchung-Ming, 2007).

Euroopan oma tuotanto ja varastojen käyttö vaimentaa kulutushuippujen ja -laaksojen välistä etäisyyttä, joten tuonnin vuodenaikavaihtelu on selvästi kulutuksen vaihtelua vähäisempää. Se alentaa tuonnin kustannuksia, koska tuontikapasiteetin kuormituskerroin on oleellisesti kulutuksen kapasiteettikerrointa suurempi. Kuormituskertoimella tarkoitetaan tässä tuodun kaasunmäärän ja tuotavissa (asennetun tuontikapasiteetin näkökulmasta) olevan kaasumäärän suhdetta.

Kaasun käytön vuodenaikavaihtelujen voimakkuudesta johtuen kaasun vuosimarkkinat jaetaan kahteen osaan: kesä- ja talvimarkkinoihin. Kesämarkkinoiden pituus on seitsemän kuukautta ja talvimarkkinoiden viisi kuukautta. Kaasumarkkina toimii kesäisin ja talvisin täsmälleen samoin mekanismein. Sen vuoksi myöhemmissä kuvauksissa ei erotella, kummasta markkinasta on kyse.



Kuva 10. Kaasun käyttö kesällä ja talvella.

Myös tuontikysyntä jaetaan kesään ja talveen. Kesän ja talven pituuksia merkitään symboleilla T^S ja T^W . Koko vuosi on näiden summa: $T^Y = T^S + T^W$.

Jos merkitään kesän aikana tuodun kaasun osuutta kertoimella s , kesä- ja talvituonti, M^S ja M^W , voidaan esittää vuosituonnin M mukaan seuraavasti:

(30) Tuonti vuodenaikojen mukaan:

$$M^S = s * M$$

$$M^W = (1 - s) * M$$

Seuraavaksi lasketaan talviajan kiinteiden kustannusten lisäkerroin. Oletetaan, että keskimääräinen investointikustannus toimitettavaa vuotuista kaasukuutiometriä kohti vastaa kesäajan toimitustehoa, joka on käytössä koko vuoden. Talviajan suurempi käyttö edellyttää kapasiteetiltaan suurempia laitteita, mutta kesätehon ylittävien laitteistojen käyttöaika on lyhyt, vain talvijakson pituinen. Sen vuoksi kesätehon ylittävän siirtotehon kustannus jaetaan huomattavasti pienemmälle vuotuiselle kaasumäärälle. Sen vuotuiset kustannukset ovat siksi suuremmat. Alla laskettava parametri k^W on kesäajalle nolla ($GP^S/GP^S=1$) ja talvelle suurempi kuin nolla. Tätä käytetään kaavassa (1).

3. Kaasun kuluttajat

(31) Talvi- ja kesäajan tehojen suhde:

$$\frac{GP^W}{GP^S} = \frac{(1-s)M}{T^W} \frac{T^S}{sM} = \frac{T^S}{T^W} \frac{1-s}{s} = 1 + \rho^W .$$

Tehosuhdetta, kesän ja talven pituutta sekä ko. ajanjaksoina tuotua kaasumäärää käytetään lisäkustannuskertoimen laskentaan. Talven siirtokustannuksen lisäosa lasketaan kesätehon ylittävälle osuudelle siten, että koko vuoden kustannukset jyvitetään talvijaksona toimitetulle kaasumäärälle.

(32) Talven siirtokustannuskerroin (kaavaan 1):

$$k^W = \frac{\rho^W}{1 + \rho^W} \frac{T^Y}{T^W} .$$

Jos esimerkiksi $\rho^W = 0,3$ (talven tuontiteho on 30 % kesätehoa suurempi) ja talvi on 5 kk:n mittainen, niin kertoimeksi tulee arvoltaan 0,55. Se tarkoittaa, että talvitehon siirtokustannus on 55 % suurempi kuin kesällä.

3.1.2 Hinnan vaikutus tuontikaasun kysyntään

Euroopan oma kaasuntuotanto kuvataan vuosiarvoina. Kaasun hankinta G muodostuu omasta tuotannosta G^d ja tuonnista M :

(33) Kaasun hankinta:

$$G_t = G_t^d + M_t .$$

Kokonaiskulutus ja kaasun oma tuotanto oletetaan tässä annetuiksi, ja tarkastelu kohdistuu tuontikaasuun. Kaasun tuontihinta ja toteutunut tuonti vaikuttavat kaasun tuontikysyntään seuraavasti:

(34) Kaasun hintariippuva tuontikerroin:

$$\rho(t) = \frac{M(t)}{M^0(t)} = \left[\frac{P(t-1)}{P^0(t-1)} \right]^\varepsilon \left[\frac{M(t-1)}{M^0(t-1)} \right]^\lambda$$

$$\varepsilon = \varepsilon_L(1 - \lambda),$$

jossa ε on lyhyen aikavälin (vuoden) hintajousto, ε_L pitkän aikavälin hintajousto ja λ on viiveparametri. Viiveparametri saa arvoja välillä 0...1 sen mukaan, miten lyhyen- ja pitkän aikavälin joustot suhtautuvat toisiinsa (Cazalet, 1977): $\lambda = 1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_L}$. $P^0(t)$ skenaariokysynnän referenssihintaa ja hinta $P(t)$ on toteutuva tuontihinta. M^0 on skenaarion tuontimäärä. Tuontikerroin on siis kahden tekijän, hinta- ja määräkertoimen, tulo. Määräkerroin vakauttaa tuontitarpeen vuosittaista kehitystä pelkästään hintaan perustuvaan päätöksentekoon verrattuna.

Kaasun vuosihinta muodostuu neljästä osasta: kummallakin vuosipuoliskolla on omat hintansa putkikaasulle, P^P :lle, ja LNG-kaasulle, P^L :lle. Nämä hinnat määräytyvät markkinoilla, joita kuvataan tuonnempana. Putkikaasun mahdollinen lisätoimitus F^+ (sopimustoimituksen ylittävä osuus) hinnoitellaan kalleimman mukaan. Kesä- ja talvihinta lasketaan erikseen mutta samalla tavalla:

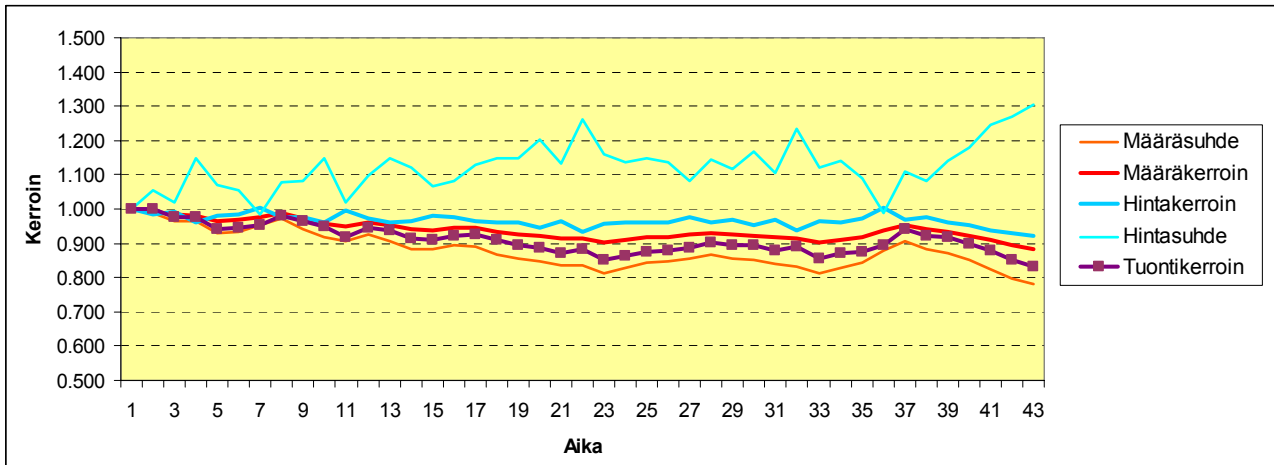
(35) Edustava kaasun hinta:

$$P(t) = \frac{ML(t)P^L(t) + MP(t)P^P(t) + F^+(t) * \max\{P^L(t), P^P(t)\}}{ML(t) + MP(t) + F^+(t)}.$$

Jos keskimääräinen tuontihinta nousee ajan myötä vertailuhintaan nähden, tuontikysyntä jää alle skenaariossa määritellyn määrän.

Kuva 11 esittää erään ajon tilanteen Euroopan kaasun tuontikertoimen kehittymisen. Hinta on perusuraa korkeammalla käytännöllisesti katsoen koko ajan, mikä johtaa myös siihen, että tuotu määrä jää alle perusuran määrän. Pelkän hintakertoimen käyttö antaisi suurempia tuontikertoimen arvoja kuin tässä sovellettu tapa, joka huomioi myös toteutuneen määrän.

3. Kaasun kuluttajat



Kuva 11. Tuontikerroin ja sen tekijät: määrä- ja hintakertoimet.

3.1.3 Putki- ja LNG-kaasun markkinaosuudet

Kysyntä jaetaan vanhaan ja uuteen kysyntään. Uusi kysyntä, M^u , on se osa kysynnästä, joka ylittää olemassa olevan tai vanhan (edeltävän askeleen), M^V , kysynnän määrän:

(36) Vanha (olemassa oleva) kysyntä:

$$M^V(t) = \min\{M(t), M(t-1)\}.$$

(37) Uusi kysyntä:

$$M^u(t) = M(t) - M^V(t).$$

Jos kysyntä laskee ajan myötä, uusi kysyntä on aina nolla. Uusi kysyntä poikkeaa nol-
lasta vain kasvavan kysynnän aikana.

(38) Kysyntäosuudet:

$$\lambda^V(t) = \frac{M^V(t)}{M^V(t) + M^u(t)}.$$

$$\lambda^u(t) = 1 - \lambda^V(t)$$

Markkinaosuuden laskennassa yhdistetään staattinen ja dynaaminen osuuslaskenta. Staattisen laskennan ydin muodostuu ajatuksesta, jonka mukaan markkinaosuus on kääntäen verrannollinen hintaan. Koska hinta p yksin ei aina riitä kuvaamaan markkina-

olosuhteita, voidaan siihen lisätä sopiva preemio δ huomioimaan näitä hintariippumattomia tekijöitä:

(39) Mukautettu markkinaosuus:

$$\varphi^j \propto \left(\frac{1}{p_j + \delta_j} \right)^\gamma.$$

Kun yllä oleva yhtälö normalisoidaan siten, että markkinaosuuksien summaksi tulee yksi, päädytään seuraavaan yhtälöön:

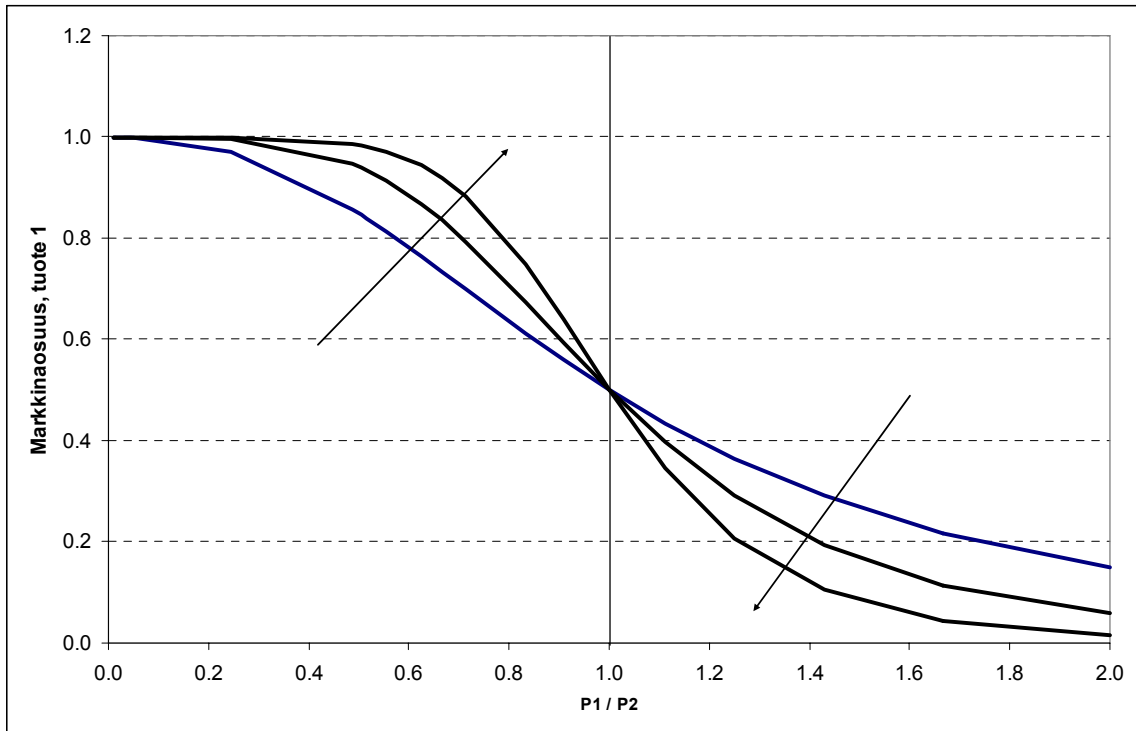
(40) Putkikaasun markkinaosuus hintojen perusteella:

$$\varphi_p(t) = \frac{(P_j(t) + \delta_p(t))^{-\gamma}}{\sum_J (P_j(t) + \delta_j(t))^{-\gamma}}.$$

Joukko J saa nyt arvot $J = \{ \text{putki, LNG} \}$. Preemioparametrin δ arvoksi asetellaan ensimmäisellä laskenta-aikajaksolla sellainen arvo, että se vastaa toteutunutta osuutta. Preemion arvon oletetaan pysyvän samana koko analyysijakson ajan. Sitä voidaan tietysti muuttaa, jos sille on perusteita.

Kahden tekijän tilannetta havainnollistaa kuva 12. Kun gamma-parametrin arvo kasvaa, kasvaa lopputuloksen herkkyyys hinnan suhteen ja hyvin suurilla gamman arvoilla päädytään kustannusminimoititilokseen. Kun hinnat ovat samat, markkinaosuudetkin yhtyvät.

3. Kaasun kuluttajat



Kuva 12. Markkinaosuuskäyrästä. Kun eksponentti-gammaa kasvatetaan, niin käyrä liikkuu nuolen suuntaan.

Kysynnän staattinen allokointi lähtee siitä oletuksesta, että päätöksentekijät mukautuvat välittömästi suhteellisten hintamuutosten mukaan. Staattinen allokointi ei ole staattinen siinä mielessä, ettei markkinaosuus kaavan mukaan laskien muuttuisi. Se muuttuu, kun suhteelliset hinnat muuttuvat. Staattisuus tarkoittaa tässä suhtautumista tulokseen: joka askeleella ajatellaan, että tämä tulos pätee tästä ikuisuuteen. Sen voi tulkita siten, että toimitaan täydellisen informaation perusteella. Koska päätöksenteon hetkellä on täydellinen tieto tulevasta, hintahistorialla ei ole merkitystä päätöksenteossa.

Todellisuudessa hintavastetta hidastavat suunnittelun ja toteutuksen viiveet sekä muutoksia luontaisesti vastustava inhimillinen piirre. Lisäksi epävarmuus tulevasta hinnoista on omiaan hidastamaan muutosta. Allokointiprosessi dynamisoidaan kuvaamalla muutosprosessi nykyisistä markkinaosuuksista staattisen allokointikaavan mukaisiin markkinaosuuksiin.

Tässä sovellettava käyttäytymisviiveellinen malli interpoloi kahden ääripään välillä. Ne ovat (i) lyhytnäköinen allokointi, jossa oletetaan, että edellisellä askeleella lasketut markkinaosuudet pysyvät samoina tästä ikuisuuteen, ja (ii) täydelliseen informaatioon perustuva allokointi, joka perustuu siihen, että nykyiset hintasuhteet eivät muutu. Näiden osuuksia painotetaan käyttäytymisviivettä kuvaavilla β -parametreilla. Lisäksi erotellaan vanha ja uusi kysyntä painokertoimella λ . Tällöin päädytään kahdesta osasta koostuvaan eksponentiaalisen tasoittamisen malliin:

(41) Markkinaosuuden dynaaminen arvo

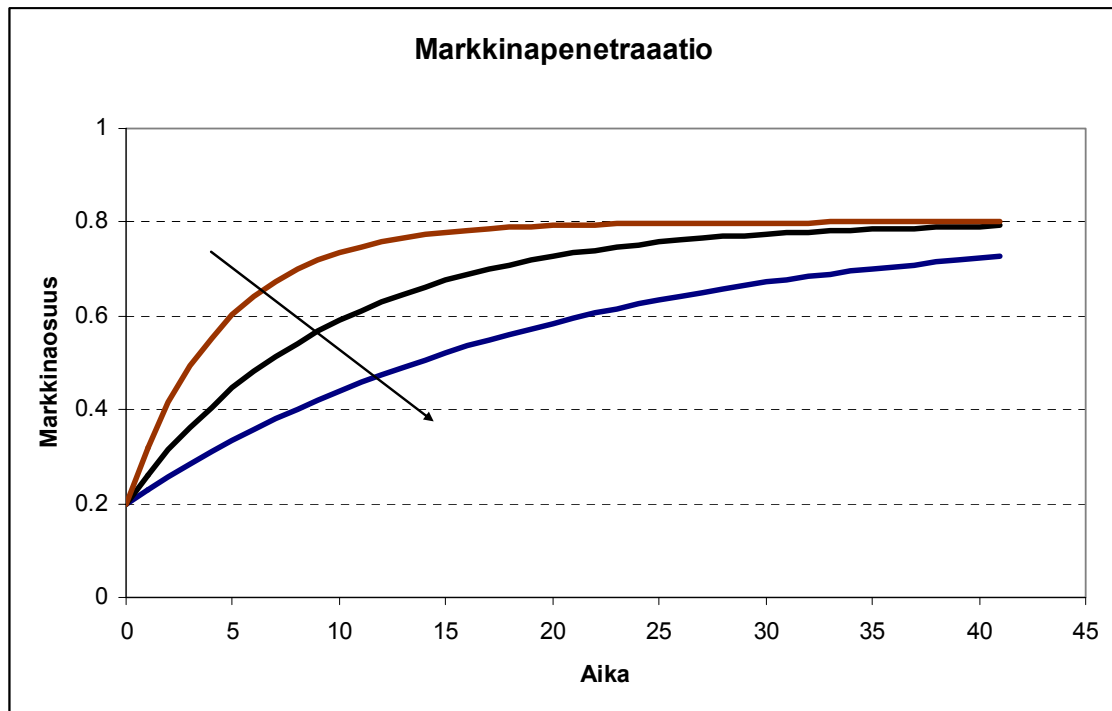
$$\hat{\phi}_p(t) = \lambda^V \left[\beta^V \varphi_p(t) + (1 - \beta^V) \varphi_p(t-1) \right] + \lambda^U \left[\beta^U \varphi_p(t) + (1 - \beta^U) \varphi_p(t-1) \right]$$

jossa $\varphi(t-1)$ on edellisen aika-askeleen toteutunut putkikaasun osuus. Uusi kysyntä voidaan allokoida vapaammin kuin olemassa vanha kysyntä, mikä tarkoittaa, että painokerroin β on suurempi uudelle kysynnälle kuin vanhalle: $\beta^V \leq \beta^U$. Uuden ja vanhan kysynnän painokertoimet λ viimeistelevät uuden ja vanhan markkinaosuuden suhteet.

Seuraava kuva, kuva 13, havainnollistaa markkinapenetroitumista tai käyttäytymiseen liittyvää viiveellisyyttä kaavan (41) mukaiselle funktiolle. Lähtötilanteessa vanhaa tilannetta kuvaa $\varphi(t-1) = 0,2$ ja uusien hintojen mukaista tilannetta $\varphi_p(t) = 0,8$. Kuvan 13 alin käyrä kuvaa vanhan kysynnän mukaista (kaavan 41 ensimmäinen osa) sopeutumista ja ylin nopeampaa, uuden kysynnän mukaista (kaavan 41 jälkimmäinen osa) sopeutumista askelmaiseen muutokseen. Mitä enemmän olemassa olevaa tilannetta painotetaan uuden tiedon kustannuksella, sitä hitaammin siirrytään kohti uutta hetkellisarvoa. Lopputulos on aina näiden käyrien väliin jäävä käyrä, ja sen tarkka sijainti määräytyy λ -kertoimien keskinäinen suuruus.

Jos $\beta = 0$, uudella tiedolla ei ole vaikutusta, jolloin pysytään olemassa olevassa tilassa. Jos taas $\beta = 1$, historialla ei ole merkitystä, jolloin markkinaosuus muuttuu välittömästi tarkasteluhetken arvoon. Ensin mainittu tapaus edustaa lyhytnäköistä käyttäytymistä, jossa tulevaisuudella ei ole mitään merkitystä: pysytään siinä, missä ollaan. Toinen tapaus taas edustaa täydellisen informaation tilannetta, jossa uusi laskettu arvo on tulevaisuuden tila ilman epävarmuuksia eikä historia vaikuta asiaan. Todellisuus lienee jossain näiden ääripäiden välissä, ja sitä kuvataan β -parametrin arvoilla, jotka ovat mainittujen ääripäiden välissä. Käyttäjä voi tuoda oman näkemyksenä markkinoiden käyttäytymisestä valitsemalla sopivan arvon kertoimelle β . Kuva13 selventää asiaa.

3. Kaasun kuluttajat



Kuva 13. Markkinapenetraatiokäyrästä. Nuoli näyttää muutoksen suunnan, kun β arvo pienenee eli kun olemassa olevan tilanteen painoarvo kasvaa.

3.2 Stokastinen kulutus

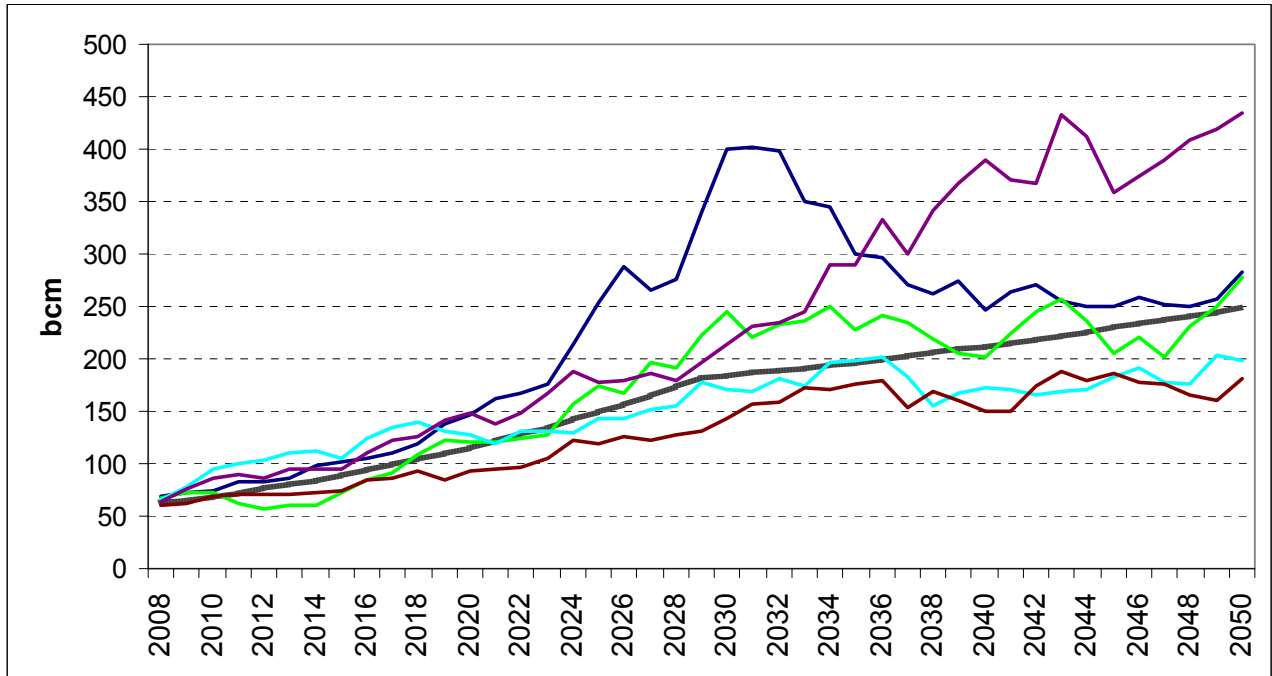
Kulutus kuvataan stokastisina suureina, sillä niiden suuruuteen liittyy merkittäviä epävarmuuksia. Yksinkertainen oletus on, että epävarmuus noudattaa geometrista Brownin liikettä, jossa suureen arvo seuraavalla askeleella, $D_{t+\Delta t}$, on sen arvo tällä hetkellä, D_t , kerrottuna jatkuvalla kasvutekijällä, jonka kasvuvauhti on r aikavälillä dt (Copeland et al., 2001). Kasvuvauhti r on normaalisti jakautunut satunnaismuuttuja, jonka keskiarvo on \bar{r} ja hajonta σ :

(42) LNG-kysynnän yhtälö:

$$D(t + \Delta t) = D(t)e^{r\Delta t}.$$

Yhden askeleen kuluttua r on 95 % todennäköisyydellä välillä $r \in [\bar{r} - 2\sigma, \bar{r} + 2\sigma]$. T -vuoden kuluttua, $T = n\Delta t$, kokonaiskasvu on normaalisti jakautunut ja sen keskiarvo on $\bar{r}T$ ja hajonta $\sigma\sqrt{T}$. T -vuoden lopussa r on 95 % todennäköisyydellä välillä $r \in [\bar{r}T - 2\sigma\sqrt{T}, \bar{r}T + 2\sigma\sqrt{T}]$.

Kuva 14 esittää viisi eri tapausta, miten yhtälön 42 mukainen kysyntä voi kehittyä ajan myötä.



Kuva 14. Esimerkki kysynnän kehittymisestä yli ajan. Sileä käyrä kuvaa determinististä trendiä.

(43) Kysynnän ylä- ja alarajat:

$$\text{Yläraja } D^{ylä}(T) = D_0 e^{\bar{r}T + 2\sigma\sqrt{T}}$$

$$\text{Alaraja } D^{ala}(T) = D_0 e^{\bar{r}T - 2\sigma\sqrt{T}}$$

Jos kasvuvauhti seuraa tasaisen kasvun uraa, kysynnän odotusarvo jakson lopussa lasketaan keskimääräisen kasvun jaksojen kokonaismäärän avulla.

(44) Kysyntä T -vuoden kuluttua:

$$D(T) = D_0 e^{\bar{r}T}$$

jossa alkutilaa $t = 0$ vastaava kysyntä on D_0 . Ratkaistaan tästä kasvukerroin ja saadaan seuraava yhtälö:

3. Kaasun kuluttajat

(45) Keskimääräinen kasvuvauhti tarkastelujaksolla:

$$\bar{r} = \frac{1}{T} \ln \left[\frac{D_T}{D_0} \right].$$

(46) Kysynnän hajonta:

$$D_T^{ala} = D_0 e^{\bar{r} - 2\sigma\sqrt{T}} \Rightarrow \sigma = \frac{\ln \left[\frac{D_T^{ala}}{D_0} \right] - \bar{r}}{2\sqrt{T}}.$$

Kasvukertoimen ja hajonnan laskemiseksi täytyy määrittää LNG:n kysynnän todennäköisin arvo T -vuoden kuluttua ja 95 % luottamusvälin alaraja. Määrittäminen tapahtuu kysymällä sopivalta taholta vastaukset seuraaviin kysymyksiin. Mikä on käyttäjän keskimääräinen kysyntä kahdenkymmenen vuoden kuluttua? Miten paljon se vähintään silloin ostaa?

Vuodenaikavaihtelu määritellään USA:n ja Aasian kulutukselle mutta ei tuottajamaan kulutukselle. Se tehdään samalla tavalla kuin Euroopan tapauksessa. Tässä oletetaan, että USA:n ja Aasian kulutuksessa hinnan ja määrän välillä on riippuvuus:

(47) Loppukuluttajan hintariippuvuus:

$$D(t) = D^0(t) \rho(t)^\epsilon,$$

jossa yläindeksi 0 viittaa yllä stokastisesti määriteltyyn kysyntään. Kuten Euroopan kysyntätapauksessa, myös tässä referenssihintaa sopeutuu markkinahintaan ja askelmaiseen häiriöön sopeudutaan siten, että pienellä viiveellä kulutus palaa kysyntäfunktion mukaiselle uralle:

(48) Referenssihinnan sopeutuminen:

$$\rho(t) = \alpha \frac{P(t-1)}{P^0(t-1)} + (1-\alpha) \rho(t-1).$$

Kaikkien muiden kuluttajien paitsi Euroopan kulutus kuvataan stokastisesti kehittyvänä. Tuottajamaiden oma kulutus ei ole hintariippuvaa, mutta muiden kuluttajien, mukaan lukien Eurooppa, on.

4. Markkinaympäristö

4.1 Tasapainon haku

Mallin kaksi tuotetta, putkikaasu ja nesteytetty maakaasu, ovat toisensa korvaavia tuotteita Euroopassa. Myös näiden tuotteiden markkinat ovat keskenään vuorovaikutuksessa. Putkikaasumarkkinalla Eurooppa on ainoa ostaja, mutta tarjoajia on useita. Markkinat siis toimivat mekanismina, jossa Euroopan kysyntä jaetaan kilpaileville tuottajille.

Tasapainon haku alkaa tuottajien toimituskyvyn laskennasta. Sen jälkeen ratkaistaan putkikaasumarkkinan tasapaino, jolloin selviää myös, jäikö putkikaasua saamatta vai hyödyntämättä. Jos kysyntä on toimituskykyä pienempi, hinta asettuu tuotantokustannusten mukaan; jos näin ei ole, hinta on tuotantokustannuksia kalliimpi siten, että kysyntä ja tarjonta asettuvat tasapainoon.

Putkikaasumarkkinan ratkettua tarkastellaan LNG-markkinaa. Jos toimituskyky ylittää kysynnän, hinta asettuu tuotantokustannusten mukaan, muussa tapauksessa hinnan nousu tasapainottaa kysynnän ja tarjonnan. Putkikaasun niukkuustilanteessa LNG-markkinoille tulee puuttuvan putkikaasun toimituksen verran lisäkysyntää Euroopasta. LNG-kysynnän ylittäessä tarjonnan ostajien LNG-saanti on suunniteltua pienempi. Jos Euroopan putkikaasukapasiteetti ei ole silloin täysin käytössä, Eurooppa tuo sitä lisää niin paljon kuin LNG-vaje on tai sen verran kuin putkikaasua on tarjolla. Tämän putkikaasun lisäerän hinta on joko putkikaasun tai LNG:n markkinahinta sen mukaan, kumpi on suurempi.

4.2 Putkikaasumarkkinan ja LNG-markkinan vuorovaikutus

Putkikaasun toteutuvaan tuontiin vaikuttavat ensin putkikaasun osuus kokonaistuonnista $\varphi_p(t)$, sitten putkijärjestelmän kapasiteetti K^P ja vielä tuottajamaiden toimituskyky S^{XP} . Näitä seikkoja kuvataan seuraavin yhtälöin.

4. Markkinaympäristö

(49) Tuontikysyntä:

$$DP(t) = \varphi_p(t)M(t).$$

(50) Vapaan putkikapasiteetin käyttö LNG-vajeen täyttöön:

$$MP^+(t) = \max\{0, SP^X(t) - DP(t)\}$$
$$F^+(t) = \min\{MP^+(t), ML^-(t)\}$$

MP^+ on putkijonastojen vapaa kapasiteetti, ML^- on LNG-markkinoilta saamatta jäävä kaasumäärä, F^+ on LNG-vajeen korvaus putkikaasulla.

(51) Putkikaasuvaje F^- LNG:n lisäkysynnäksi:

$$F^-(t) = \max\{0, MP(t) - SP^X(t)\}.$$

(52) Putkikaasun kokonaistuonti:

$$MP(t) = DP(t) + F^+(t) - F^-(t).$$

4.3 Putkikaasumarkkina

Putkikaasumarkkinan erityispiirre on se, että Eurooppa on ainoa ostaja, mutta tarjoajia on useita. Putkikaasun kysyntään vaikuttaa putkikaasun ja LNG:n hintasuhde. Kyse on siten kysytyn määrän allokoinnista tuottajille. Jos tarjonta alittaa kysynnän, hinta nousee, kunnes tasapaino löytyy.

Tarjontaa rajoittavat tekijät ovat kaasun tuotantokyky ja siirtokapasiteetti. Puuttuva putkikaasumäärä ohjataan LNG-markkinoiden kysynnäksi.

Tilanne voi olla myös sellainen, että putkikaasua voisi toimittaa kysyntää enemmän. Jos tällaisessa tilanteessa LNG-kaasusta on niukkuutta, puuttuvaa LNG-toimitusta täydennetään tuomalla sopimusta enemmän putkikaasua. Sitä tuodaan joko kaikki tai vain osa puuttuvasta LNG-määrästä sen mukaan, paljonko käyttämätöntä putkikapasiteettia ja -kaasua on tarjolla. Tämä LNG-kaasua korvaava putkikaasun kysyntä ei vaikuta putkikaasun hintakertoimeen, koska sen määrä on aina toimituskyvyn rajoissa. Putkikaasun lisätuonnin hinnaksi asetetaan LNG-markkinoiden kaasun hinta.

4.3.1 Markkinatasapaino

Putkikaasun hintana käytetään linjakohtaisista kaasun pitkän aikavälin marginaalikustannuksista, LMC , laskettua hintaindeksiä P_0 :

(53) Putkikaasun hinta:

$$P_0(t) = \frac{\sum_j LMC^j(t-1) * S^j(t-1)}{\sum_j S^j(t-1)}.$$

Koska malli ei kuvaa aivan lyhytaikaista tilannetta vaan tarkastelujaksot ovat noin puolen vuoden mittaisia, pitkän aikavälin marginaalikustannus on sopiva tuotantokustannuksen vertailuarvo.

Euroopan putkikaasunmarkkinat tasapainottava hintaindeksi lasketaan kysyntä- ja tarjontayhtälöistä seuraavasti:

(54) Putkikaasun hintaindeksi $B(t)$:

$$D(t) = D_0(t) \left(\frac{P(t-1)}{P_0(t-1)} \right)^{\varepsilon_d} = S_p(t) \Leftrightarrow B(t) = \frac{P(t-1)}{P_0(t-1)} = \left(\frac{S_p(t)}{D_0(t)} \right)^{\frac{1}{\varepsilon_d}}.$$

(55) Putkikaasun markkinahinta:

$$P(t) = P_0(t) * \max \{1, B(t)\}.$$

Maksimioperaattori huolehtii siitä, että hinta ei mene alle tuotantokustannusten $P_0(t)$.

Kaasun toimitus tasapainotilanteessa on sama kuin kysyntä, jos tuottajien toimituskyky riittää, ja tällöin hinta vastaa pitkän aikavälin marginaalikustannusta. Jos taas kerroin B on ykköistä suurempi, mikä indikoi niukkuustilannetta, määrä on sama kuin kaikkien tuottajien toimituskyky yhteensä.

4.3.2 Kaasun jako putkilinjoille

Kun putkikaasun ostomäärä on selvillä, on seuraava vaihe sen jako ensin putkilinjoille ja sitten putkilinjaa syöttäville maille. Putkikaasun tuontimäärä allokoidaan eri putkilinjoille kolmivaiheisen allokaatioprosessin avulla. Se tehdään ensi vaiheessa nykyisen hintatilanteen perusteella, sitten huomioidaan edellisen askeleen markkinaosuus ja ky-

4. Markkinaympäristö

synnän kasvu, minkä jälkeen tuottajamaiden toimituskyky määrää lopullisen markkinaosuuden.

(56) Markkinaosuuden staattinen laskenta hintojen perusteella:

$$\varphi_j(t) = \frac{(P_j(t) + \delta_j(t))^{-\gamma}}{\sum_j (P_j(t) + \delta_j(t))^{-\gamma}}.$$

Joukko J sisältää nyt kaikki Eurooppaan tulevat putkilinjat.

(57) Markkinaosuuden dynaaminen arvo:

$$\hat{\phi}_j(t) = \lambda_i^V \left[\beta^V \varphi_j(t) + (1 - \beta^V) \varphi_j(t-1) \right] + \lambda_i^U \left[\beta^U \varphi_j(t) + (1 - \beta^U) \varphi_j(t-1) \right].$$

Putkilinjalle j hintasuhteiden mukaan laskettu markkinaosuus voi olla sellainen, että se ei käytännössä ole toteutettavissa riittämättömän toimituskyvyn takia. Sen vuoksi markkina-allokaatio on vielä tarkistettava kapasiteetit huomioiden. Tehtävä ratkaistaan iteroimalla:

(58) Putkilinjan kaasun virtaus tasapainotilanteessa:

$$GP_j(\alpha_n) = KP_j \exp \left[\frac{\alpha_n KP_j}{\hat{\phi}_j MP} \right]$$
$$Z(\alpha_n) = MP - \sum_j GP_j(\alpha_n) \rightarrow 0$$
$$\alpha_{n+1} = \alpha_n - \frac{Z(\alpha_n)}{Z'(\alpha_n)}$$

jossa GP_j on linjan j tarjonta, KP_j on linjan j toimituskyky tarkasteluhetkellä ja MP on tarkasteluhetken putkikaasun kysyntä. Tekijä α etsitään siis Newtonin menetelmällä (kolmas yhtälö) siten, että kaksi yllä olevaa yhtälöä toteutuu. Osuusparametrin arvo voidaan iteroinnin valmistuttua laskea toimitusmäärien avulla:

(59) Putkilinjan markkinaosuus:

$$\phi_j = \frac{GP_j}{\sum_j GP_j} = \frac{GP_j}{MP}.$$

Tätä arvoa käytetään seuraavalla askeleella hintaperusteista osuusparametria laskettaessa.

4.3.3 Kysynnän jako putkilinjaa syöttäville tuottajille

Kun tuotanto on jaettu putkilinjojen välillä, seuraa putkilinjalle allokoitun kaasun jako tuottajille.

(60) Toimijan putkilinjaan syöttämä kaasu:

$$D_{i(j)}(t) = \psi_{i(j)}(t)GP_j(t),$$

jossa i viittaa tuottajaan ja j siirtoputkilinjaan, $\psi_{i(j)}$ on tuottajan i markkinaosuus. Syötöpäässä on siis seuraavanlainen allokointiongelma: kuinka paljon kukin ko. putkilinjaa syöttävä maa tai kenttä putkeen kaasua tuottaa? Voidaan ajatella useita valintaperusteita mutta valitaan tässä yksinkertaisin: tarvittava kaasumäärä jaetaan tuottajille toimituskyvyn suhteessa.

(61) Toimijan i markkinaosuus putkilinjassa j :

$$GP_j(\alpha_n) = KP_j \exp \left[\frac{\alpha_n KP_j}{\hat{\phi}_j MP} \right]$$

$$Z(\alpha_n) = MP - \sum_j GP_j(\alpha_n) \rightarrow 0 \quad \psi_{i(j)}(t) = \frac{SP^{iX}(t)}{\sum_{i(j)} SP^{iX}(t)}$$

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n - \frac{Z(\alpha_n)}{Z'(\alpha_n)}$$

SP^X on tuottajan putkikaasun maksimitarjonta eli toimituskyky. Joukko $i(j)$ on putkilinjaa j syöttävien maiden joukko tai yhden maan eri kenttien muodostama joukko. Jokaiselle putkilinjalle allokoitu kysyntä tyydytetään sitä syöttävien toimijoiden (kenttien, maiden) toimituskykyjen suhteessa. Tällä hetkellä vain Venäjällä on useampia kenttiä, ja Venäjän putkilinjoja syöttää vain Venäjä. Muilla putkilinjoilla on yksi tai useampi niitä syöttävä maa. Jos mallia tarkennetaan siten, että kullakin maalla on useita kenttiä, malliin on lisättävä yksi taso, joka huomioi kentät.

4. Markkinaympäristö

Yo. käytäntö on valittu, koska toimituskyvyn oletetaan olevan seurausta paikallisesta sopimuskäytännöstä, eli toimituskykyä oletetaan rakennettavan sovittujen tuotantomäärien mukaisesti. Perimmältään kyse on kaasun määrästä: se, jolla on eniten toimitettavissa olevaa kaasua, saa myös suurimman toimitusosuuden. Jakoperusteeseen vaikuttaa toki myös se, että tiedon tarve hintaperusteiselle allokoinnille on suuri. Se on sitä suurempi, mitä yksityiskohtaisempaan allokointirakenteeseen mennään. Lisäksi jos toiminta on kaikille tuottajille kannattavaa, kyse on myös siitä, kuinka suuri rahan tarve toimijalla on lyhyellä aikavälillä, kuinka suureen katteeseen on tarvetta pyrkiä jne. Öljymarkkinoillakaan ei toimita siten, että kaikki halvimmat lähteet käytettäisiin ensin ja sitten edettäisiin kohti kalliimpia esiintymiä. Jos näin toimittaisiin, Pohjanmeren öljykentät odottaisivat vieläkin käyttöönottoa.

4.4 LNG-markkina

Atlantin LNG-markkina eroaa Euroopan putkikaasumarkkinoista siinä, että siellä on ostajina Euroopan lisäksi USA ja Aasia. Viimeksi mainittujen kysyntää kuvataan stokastisilla ja korreloituneilla kysyntäfunctioilla. Käyttäjä määrittelee näille maille kysyntäfunctiot muutamalla kysyntää kuvaavalla luvulla. Niiden avulla malli generoi halutunlaista kysyntää, kuten luvussa Stokastinen kysyntä on kuvattu.

Samoin kuin Euroopan kysynnän tasoon vaikuttaa kaasumarkkinoiden hintataso, myös USA:n ja Aasian kysyntä joustaa hintatason mukaan. Kummallakin on oma ominainen hintajoustoparametrinsa, jonka perusteella kysyntä joustaa hinnan mukaan.

4.4.1 Markkinatasapainon laskenta

LNG-markkinoiden mahdollinen ylikysyntätilanne tasapainotetaan nostamalla hintaa. LNG-markkinoilla on kolme ostajaa: Eurooppa, USA ja Aasia. Kullakin on ominainen hintajoustokerroin ε_j , Euroopalla ja USA:lla se on Aasian joustoa suurempi. Nämä ovat toki muutettavissa käyttäjän näkemyksen mukaan. Perusvalinta heijastaa sitä, että Aasian energiantarve on niin suuri, ettei sillä ole mahdollisuutta ohjata kaasun kysyntää muihin energiamuotoihin, sillä nekin ovat täydessä käytössä. Euroopalla ja USA:lla on enemmän vaihtoehtoisia energian tuotantomuotoja tarjolla, eikä kaasun käyttö ole siksi välttämätöntä suunnitellussa laajuudessa.

Euroopan LNG-kysyntään vaikuttaa putkikaasumarkkinan tila. Jos putkikaasua on saatavissa vähemmän kuin on tarve, vaje ohjautuu LNG:n kysyntään. Jos taas LNG:n tarvetta ei saada tyydytettyä, vaje voidaan ostaa putkikaasumarkkinoilta, jos siellä on vapaata kapasiteettia tarjolla. Viimeksi mainitun putkikaasuerän hinta on silloin joko putkikaasun tai LNG:n hinta sen mukaan, kumpi on korkeampi.

(62) Euroopan LNG-kysyntä hetkellä t :

$$ML_{Eur} = (1 - \varphi_p)M + F^-,$$

jossa φ_p on putkikaasun osuus kokonaistuonnista, M on Euroopan ”suunniteltu” LNG-kaasuntuonti ja F^- on putkikaasun toimitusvaje, joka ohjautuu LNG-lisätuonniksi.

LNG-markkinan kahden muun ostajan, USA:n ja Aasian, kysynät merkitään ML_i , jolloin

(63) USA:n ja Aasian kysyntä:

$$ML_i = ML_0^i \left(\frac{P}{P_0} \right)^{\varepsilon_i} = ML_0^i H^{\varepsilon_i}$$

$$H = \frac{P}{P_0}$$

Tarjonta muodostuu kaikkien toimijoiden toimituskyvyn mukaan. Toimituskykyyn vaikuttaa kentän tuotantokyky (luku nn) ja asennettu LNG:n tuotantokapasiteetti. Tarjonnaksi asetetaan joko tuottajien k toimituskykyjen SL^X summa tai kokonaiskysyntä sen mukaan, kumpi on pienempi:

(64) LNG:n kokonaiskysyntä:

$$ML = \sum_{l \in L} ML_l$$

$$L = \{Eur, USA, Aasia\}$$

LNG:n kysyntä voidaan jakaa suoraan tuottajamaille, koska nesteytetyn maakaasun kuljettamiseen ei tarvita kaasuputkistoon verrattavissa olevaa tuottajia yhdistävää rakennetta. Hinta asettuu sellaiselle tasolle, että kysyntä ei ylitä tuotteen toimituskykyä. Toteutuva tuonti voi siis poiketa alkuperäisestä kysynnästä.

4. Markkinaympäristö

(65) Toteutuva tarjonta:

$$SL = \min \left\{ \sum_k SL_k^X, \sum_i ML_i \right\}.$$

Jos kysyntä ylittää tarjonnan, tehtävänä on siis löytää hintataso, jolla ylikysyntä häviää. Muodostuvaa hintatasoa kuvaavaa hintaindeksiä, $H = P/P_0$, käytetään LNG:n markkinahinnan määrittämiseen.

(66) Kysynnän ja tarjonnan tasapaino

$$Z(B_n) = SL - \sum_i ML_i(H_n) \rightarrow 0$$
$$H_{n+1} = H_n - \frac{Z(H_n)}{Z'(H_n)}$$

haetaan soveltamalla Newtonin menetelmää ja liikkeelle lähdetään hintaindeksin H arvosta 1 (siis $P = P_0$). (Jos niukkuutta ei ole, lähtöpiste on suoraan ratkaisu.) Koska tarjonta on korkeintaan kysynnän suuruinen, ei hintaindeksi ole koskaan ykköstä pienempi, mikä takaa sen, että hintataso kattaa aina tuotantokustannukset.

(67) Markkinahinta

$$P_t^L = PC_t^L * H_t$$

saadaan, kun edellisen kaavan vaiheen mukaisella hintaindeksillä kerrotaan LNG:n tuotantokustannus.

Euroopan markkinoilta ostama LNG-määrä voi siis poiketa alaspäin alkuperäisestä suunnitelmasta. Merkitään tätä saamatta jäänyttä määrää symbolilla ML . Mahdollisuuksien mukaan puuttuvaa määrää voidaan yrittää hankkia putkikaasumarkkinoilta.

Mutta mikä on tuotantokustannushinta PC^L ? Luonnollinen valinta olisi tuotantosuudella painotettu pitkän aikavälin marginaalikustannus, kuten putkikaasullakin. Valitaan nyt kuitenkin perushinnaksi markkinajohtajan tuotantokustannus. Oletetaan siis, että suurimman markkinaosuuden haltija pystyy käytännössä asettamaan oman tuotantokustannuksensa markkinoiden hinnan alarajaksi..

4.4.2 Tuottajien markkinaosuudet

LNG:n Atlantin markkinan kysyntä muodostuu kolmesta kuluttajasta, jotka ovat Eurooppa, USA ja Aasia. Viimeksi mainittujen LNG-kysyntä kuvaa sitä osaa niiden koko-

naiskysynnästä, joka kohdentuu Atlantin markkinalle. Tyynenmeren markkinaa ei tässä käsitellä lainkaan. Malli ei siis ole maakaasun maailmanmalli.

Kokonaiskysyntä allokoituu suoraan tuottajamaille markkinavuorovaikutuksen mukaan kolmevaiheisella allokointiproseduurilla.

(68) Markkinaosuuden staattinen laskenta hintojen perusteella:

$$\varphi_j(t) = \frac{(P_j(t) + \delta_j(t))^{-\gamma}}{\sum_j (P_j(t) + \delta_j(t))^{-\gamma}}.$$

Joukko J sisältää nyt kaikki LNG-tuottajat, jotka kaasua Eurooppaan toimittavat.

(69) Markkinaosuuden dynaaminen arvo:

Tuottajan i markkinaosuudelle voidaan kirjoittaa edellisen askeleen markkinaosuuden, $\varphi_i(t-1)$, huomioiva lauseke:

$$\begin{aligned} \hat{\varphi}_i(t) &= \lambda_i^V \left[\beta^V \varphi_i(t) + (1 - \beta^V) \varphi_i(t-1) \right] \\ &+ \lambda_i^U \left[\beta^U \varphi_i(t) + (1 - \beta^U) \varphi_i(t-1) \right] \end{aligned}$$

Tuotantomuodolle i hintasuhteiden mukaan laskettu markkinaosuus voi olla sellainen, että se ei käytännössä ole toteutettavissa riittämättömän kapasiteetin (toimituskyvyn) takia. Sen vuoksi markkina-allokaatio on vielä tarkistettava kapasiteetit huomioiden.

Aiemmin on jo varmistettu, että kokonaiskysyntä ML ei ylitä tuottajien kokonaistoimituskykyä. On vielä varmistettava, että jokaisen tuottajan tuotanto pysyy kapasiteetin rajoissa. Tehtävä ratkaistaan iteroimalla:

(70) Tuottajien tasapainotilan tuotanto:

$$\begin{aligned} GL_j(\alpha_n) &= SL_j^X \exp \left[\frac{\alpha_n SL_j^X}{\hat{\varphi}_j ML} \right] \\ Z(\alpha_n) &= ML - \sum_j GL_j(\alpha_n) \rightarrow 0, \\ \alpha_{n+1} &= \alpha_n - \frac{Z(\alpha_n)}{Z'(\alpha_n)} \end{aligned}$$

jossa GL_k on tuottajan k tuotanto, SL_k^X on ko. hetken toimituskyky. Tekijä α etsitään siis Newtonin menetelmällä (kolmas yhtälö) siten, että kaksi yllä olevaa yhtälöä toteutuvat. Toi-

4. Markkinaympäristö

mituskyky on kyseisen tuotteen tuotantokyky tarkasteluhetkellä. Näin tuottajakohtaiset toteutuvat tuotantomäärät ja niiden perusteella lasketaan toteutuvat markkinaosuudet:

(71) Tuottajan j markkinaosuus:

$$\phi_j(t) = \frac{GL_j(t)}{\sum_j GL_j(t)}.$$

4.4.3 Nesteytyskapasiteetin lisärakentaminen

Mallin käyttö tulee raskaaksi, jos käyttäjän täytyy asetella kaikkien maiden LNG-tuotantokapasiteetteja tilanteen mukaan. Määriteltäviä asioita on silloin yksinkertaisesti liian monta. Sen vuoksi malli käyttää oletusarvoisesti automaattista kapasiteettisopeutusta. Se voidaan tarvittaessa korvata käsin tehtävällä kapasiteetinasettamisella.

Malli tarkastelee kapasiteettitarvetta koko toimialan tasolla. Kun lisäkapasiteettitarvetta on, se kohdennetaan toimijoille tarkasteluhetken tuotantokustannukset ja kaasuntuotannon laajentamismahdollisuudet huomioiden. Käytännössä LNG:n tuotanto laajenee Afrikassa ja Lähi-idässä. Venäjä toimittaa Eurooppaan putkiteitse kaasua, ja Norjal-la ei ole mahdollisuutta merkittävässä määrin laajentaa tuotantoaan. Norjan LNG-toiminta kohdistuu muille kuin Euroopan markkinoille.

Kapasiteetin rakentaminen on viiveellistä. Tässä huomioidaan myös sitä rakentavan teollisuuden viiveet ja sen aiheuttama nousupaine hintoihin. Se tarkoittaa, että kapasiteetin laajentuessa nopeasti kapasiteetin hinta nousee annetusta, kunnes kapasiteettiteollisuus on sopeutunut eli laajentanut omaa kapasiteettiaan.

(72) Kaikkien tuottajien LNG:n tuotantokapasiteetti yhteensä, KL :

$$KL(t) = \sum_i KL_i(t).$$

(73) Tuotantokapasiteetin tuottamisen kapasiteettitavoite:

$$w(t) = \max \left\{ 0; \frac{DL^*(t)}{KL(t)} - 1 \right\},$$

jossa DL^* on kapasiteettitarve (tuotekysyntä hetkellä t). Toimialan sopeutumista muuttuviin tilanteisiin kuvataan yksinkertaisella eksponentiaalisen tasoituksen mallilla:

(74) Kapasiteettiteollisuuden kehittyminen:

$$\begin{aligned} \tilde{w}(t) &= \max \{ 0, \alpha w(t) + (1 - \alpha) \tilde{w}(t-1) \} \\ \tilde{w}(0) &= \tilde{w}_0 \end{aligned}$$

jossa $\tilde{w}(t)$ on kapasiteetin tuotanto ja α on kapasiteettiteollisuuden sopeutumisviivettä kuvaava kerroin. Tässä suljetaan maksimioperaattorilla pois se vaihtoehto, että kapasiteettia purettaisiin tarkastelujaksolla. Toimialan askelvastetta voi arvioida puoliintumisaajan lausekkeesta:

(75) Kapasiteettiteollisuuden askelvasteen puoliintumisaika:

$$h = \frac{\ln(\frac{1}{2})}{\ln(1 - \alpha)}.$$

Esimerkiksi α arvolla 0,35 puoliintumisaika h on 1,6 vuotta, mikä tarkoittaa, että neljänä vuonna yli 80 % tavoitteesta on saavutettu.

Tuottajien hintakilpailukyky lisätuotannosta määrää ensisijaisesti sen, mihin nesteytyskapasiteetin lisäys ohjautuu. Jos hinnan mukaan laskettua lisätuotantoa ei kaasurssien mukaan ole mahdollista toteuttaa Afrikassa, se ohjautuu Lähi-idän tuottajille. Hintakilpailukyky lasketaan uudelle tuotannolle markkinaosuuslaskennan mukaisesti:

4. Markkinaympäristö

(76) Laajennuksen markkinaosuuden staattinen laskenta hintojen perusteella:

$$\varphi_j(t) = \frac{(P_j(t) + \delta_j(t))^{-\gamma}}{\sum_j (P_j(t) + \delta_j(t))^{-\gamma}}.$$

Tuottajan j kaasuntuotannon laajennusmahdollisuus lasketaan kentän jäljellä oleva kaasumäärä huomioiden ja olettaen, että vähintään kahdenkymmenen vuoden tuotantoa vastaavan kaasumäärän on oltava tarjolla:

(77) Vapaa kaasumäärä vuodessa toiminta-aikana:

$$A^j(t) = \frac{1}{T_L} \max \{0, \delta^j(t) KR^j(t) - G^j(t)T_L\}.$$

Kaasun tuotantoa ei laajenneta, jollei nykytuotantoa pystytä ylläpitämään seuraavaa kahtakymmentä vuotta $= T_L$. Se on oletettu uuden kapasiteetin teknis-taloudelliseksi tarkastelujaksoksi. Kertoimelle $\delta(t)$ käyttäjä voi antaa arvoja 0 tai 1 sen mukaan, onko maalla ylipäänsä mahdollisuuksia (tai halua) kasvattaa tuotantokapasiteettiaan (0 = ei). Kentän tuotantokyvystä päästään LNG:n tuotantokykyyn huomioimalla tuotteen kulu-
tussuhde kaasussa ($\eta_L =$ hyötysuhde kentältä LNG-kuluttajalle):

(78) Vuotuisen LNG-tuotannon maksimimäärä:

$$S_L^j(t) = \eta_L A^j(t).$$

Seuraavaksi verrataan kaasuresurssien mahdollistamaa LNG:n lisätuotantoa saatavissa olevaan tuotantokapasiteettiin ja valitaan näistä pienempi.

(79) Toteutettavissa oleva laajennus:

$$KL_j^+(t) = \min \left\{ \tilde{w}(t)KL(t)\varphi^j(t); \sum_j S_L^j(t) \right\}.$$

Jos tuottaja ei pysty tuottamaan hintakilpailukyvyyn mukaista osuuttaan lisätuotannosta, se lisää muiden tuottajien mahdollisuuksia laajentaa tuotantoa.

(80) Tuottajan LNG-kapasiteetti laajennuksen jälkeen:

$$K_L^j(t) = K_L^j(t-1) + KL_j^+(t-1).$$

Kapasiteetti ei vähene simuloinnin aikana, mutta se kasvaa, jos kysyntä ylittää tuotantokyvyn.

Nesteytyskapasiteetin kasvattaminen suhteessa toimituskykyyn merkitsee, että alussa hyvinkin vähän tai ei lainkaan kaasua tuottava maa voi nousta merkittäväksi tekijäksi, jos kaasuresurssit ovat riittävän suuret. Ja kääntäen: alussa merkittävän tuottajan asema voi kutistua pieneksi, jos tuotteen kysyntä on suuri ja muilla tuottajilla on runsaammat kaasuresurssit.

5. Esimerkkiajoja

Seuraavassa esitellään lyhyesti, millaisia tuloksia mallilla voidaan tuottaa. Esimerkit eivät ole kaiken kattavia vaan kuvaavat mahdollisia mallianalyysyjä

Kaasun kulutuskehityksen perusura on IEA:n *World Energy Outlook 2008*:n mukainen. Johtuen muun muassa erilaisista aluemäärittelyistä aivan täsmälleen samoja lukuarvoja ei voi käyttää, mutta oleellisilta osin kyse on samasta tapauksesta.

5.1 Perusdata

5.1.1 Resurssit

Mallin resurssitiedot perustuvat BP:n vuosijulkaisuun *BP Statistical Review of World Energy, June 2008*. Sen mukaisesti kaasun todennetut varat ovat seuraavat:

Taulukko 2. Kaasuvarat toimijoittain. Yksikkö on miljardia (10^9) kuutiometriä (bcm, SI-yksiköissä G) paitsi varojen kohdalla biljoonaa (10^{12}) m^3 (SI-yksiköissä T).

	bcm	Varat (Tm3)	Tuotanto	Oma kulutus	R/P
Norja		3.0	90	4	33
Venäjä		44.7	607	439	74
Kaspia		7.6	164	96	46
Lähi-itä					
Qatar		25.6	60	21	> 100
UAE		6.1	49	43	> 100
Iran		27.8	112	112	> 100
Saudi-Arabia		7.2	76	76	95
Muu		6.6	59	48	> 100
Afrikka					
Algeria		4.9	83	24	59
Egypti		2.2	47	32	47
Libya		1.5	15		100
Nigeria		5.8	35		> 100

Kaasuvarat ovat runsaat, mitä suuret R/P-luvut heijastavat. Norjalla varat ovat taulukon pienimmät, ja tuotanto kääntyneekin laskuun lähivuosikymmenen kuluessa.

Lähi-idän kaasuvarat ovat mittavat. Mielenkiintoinen seikka on, että Iran ja Saudi-Arabia tuottavat kaasua toistaiseksi vain omaan käyttöönsä huomattavista varoistaan huolimatta. Laskelmissa on oletettu, että molemmat maat aloittavat viennin vuonna 2020.

Mallissa on oletettu resursseja löytyvän lisää keskimäärin 30 % nykyisten tunnettujen resurssien mukaan laskettuna. Lisälöydöt oletetaan log-normaalijakautuneiksi. Lisälöydöt realisoituvat logistisen kasvukäyrän mukaan tasajakautuneena satunnaissuurena.

Venäjäntien käyttöön otosta on oletettu seuraavaa: Vuonna 2010 otetaan nykykenttien läheltä käyttöön uusia kenttiä ja Jamalín niemimaan kaasukenttien mittava hyödyntäminen aloitetaan aikaisintaan 2018. Siihen liittyy satunnainen viive, joka voi myöhentää sen todellista käyttöönottoa. Pohjoisten merialueiden kaasuvarojen käyttöönotto tapahtuu aikaisintaan 2040. Kaasuntuotannon määrä seuraa suunnilleen BOFITin arvioita (Solanko, 2008).

Muissa tuottajamaissa kenttien resursseja otetaan käyttöön askeleittain tarpeen mukaan mutta satunnaisella viiveellä ryyditettynä.

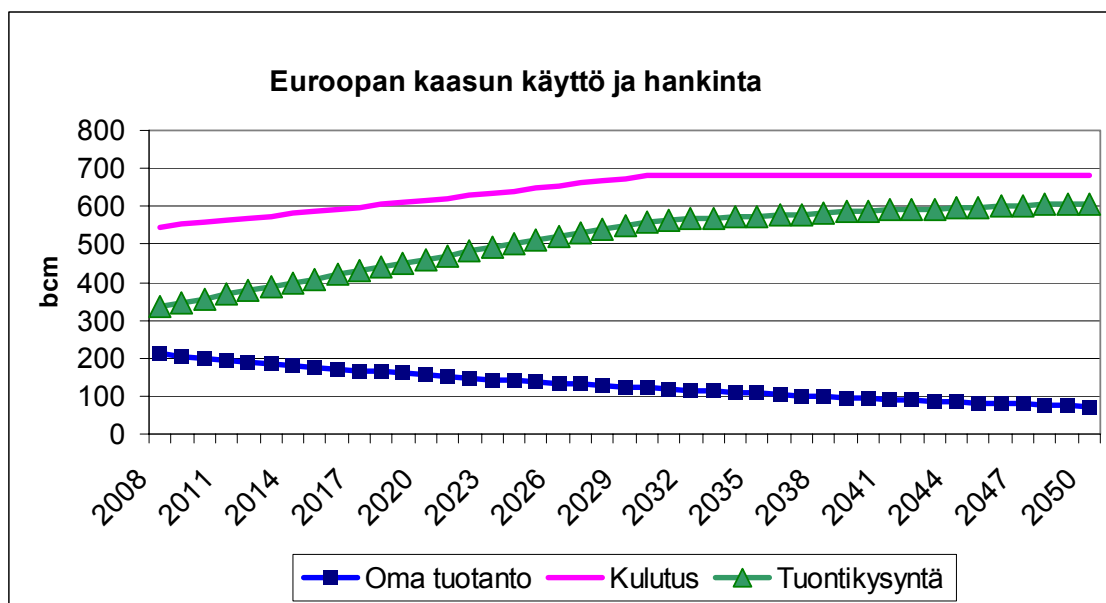
5.1.2 Kulutus

Kaasun kulutus on keskeinen suure analyseissä. Kaasun kulutukset on sovitettu WEO 2008 mukaisiksi niin kaasun tuottajamaissa kuin Euroopassa, USA:ssa ja Aasiassa. Monte Carlo -simuloinnissa kulutuksen epävarmuus on merkittävin tulossuureiden vaihteluiden syy.

Euroopan kulutus kuvataan skenaariona. Tämä johtuu siitä, että analyysin kohde on nimenomaan se, miten skenaariossa kuvattu kaasun hankinta voi toteutua annettujen olosuhteiden vallitessa.

Euroopan kulutuksen ja kaasun hankinnan, siis oman tuotannon ja tuonnin, kehittyminen näkyy kuvassa 15.

5. Esimerkkiajoja



Kuva 15. Euroopan kaasun käyttö ja hankintaskenaario.

Keskeiset kaasuvirrat vuosina 2006 ja 2030 on kuvattu taulukossa 3.

Taulukko 3. Alueiden väliset kaasuvirrat WEO 2008:n mukaan, yksikkö bcm. Sarakkeet kuvaavat ostajia ja rivit myyjä.

2006/2030	Eurooppa	USA (LNG)	Aasia (LNG)
Venäjä	137/156	0/2	
Lähi-itä	12/61 (LNG)	0/93	43/180
Afrikka	88/261 (putki ja LNG)	6/12	0/4

Taulukosta puuttuvat mallissa esiintyvät tuottajat Norja ja Kaspianmeren alueen tuottajat. Viimeksi mainitut vievät kaasua Venäjän siirtoputkiston kautta Eurooppaan. Venäjä aloittaa kaasun viennin Kiinaan ja Japaniin WEO:n skenaarion mukaan. Se on suuruudeltaan vuonna 2030 yhtä suurta kuin Kaspian alueen vienti nyt Venäjälle.

Merkille pantavaa taulukossa 3 on Afrikan Euroopan viennin voimakas kasvu. Euroopan tuonti vuonna 2030 on taulukon mukaan yhteensä 478 bcm. Mallissa nesteytetyn maakaasun, LNG:n (*Liquified Natural Gas*), vienti/tuonti ei ole määritelty maasta maahan, vaan se tapahtuu anonyymien markkinan kautta. Jos tehdään oletus siitä, mikä osuus LNG:n tuonnista tulee Afrikasta, mikä Lähi-idästä, voidaan raportoida tuonti maanosittain. Jos taas oletetaan, että Eurooppa ostaa LNG:tä samalla jakaumalla kuin markkinapaikan läpi virtaa, voidaan raportoida vienti maanosittain.

Afrikan vienti skenaarion mukaan on 261 bcm vuonna 2030. Afrikan oman kulutuksen ko. vuonna on arvioitu olevan 164 bcm. Afrikan tunnetut varat ovat noin 15 Tcm. Kun oletetaan nykyisen tuotannon kasvavan lineaarisesti vuoteen 2030, kulutus nykyhetkestä on noin 7 Tcm. Näillä oletuksilla R/P on vuonna 2030 $(15\,000 - 7\,000) / 425 = 19$ vuotta. Varat ovat silloin hupenneet noin puoleen, eli ainakin joissain maissa ollaan jo laskevan tuotannon kaudessa. Skenaario on täysin mahdollinen mutta johtaa resurssien riittävyysongelmaan tarkastelujakson aikana.

5.1.3 Kustannukset

Käytetyt kustannustiedot on esitetty taulukossa 4. Ne on kerätty eri lähteistä ja sovitettu mallin käyttöön. Luvut ovat pikemminkin suuruusluokkaa kuvaavia kuin tarkkoja. Lähi-idän LNG:n laivakuljetuskustannus perustuu Afrikan kiertoon, ei Suezin kanavan käyttöön.

Taulukko 4. Kustannustiedot (Hartley, et al., 2005, Zwart et al., 2006, Lee, 2005).

eur/MWh	Kenttäkust.	Putkikulj.	Nesteytys	Laivakulj.	Terminaalipalv.
Norja	4.0	4	4.46	2.04	2.95
Venäjä	4–20	5	4.46	4.0	2.95
Kaspia	2.0	4			
Lähi-itä					
Qatar	1.5	6	4.46	4.90	2.95
UAE	1.5	6	4.46	4.90	2.95
Iran	1.5	6	4.46	4.90	2.95
Saudi-Arabia	1.5	6	4.46	4.90	2.95
Muu	1.5	6	4.46	4.90	2.95
Afrikka					
Algeria	1.6	4	4.46	0.50	2.95
Egypti	1.6	4	4.46	0.80	2.95
Libya	1.6	4	4.46	0.70	2.95
Nigeria	1.7	7	4.46	2.04	2.95

Venäjän uusien kenttien tuotantokustannukset ovat ympäristöolosuhteiden ankaruudesta johtuen epävarmoja, ja siksi Monte Carlo -simuloinnissa niitä kuvataan todennäköisyysjakaumin.

Malli on suunniteltu mahdollisten kaasuvirtauksien tutkimiseen, ei hintaennusteiden tekemiseen. Se tarkoittaa, että mallilla voidaan arvioida tehtyjen kaasun kulutusta kuvaavien skenaarioiden realistisuutta. Kysyntä ja markkinaosuudet muuttuvat hintojen

5. Esimerkkiajoja

kapasiteettien mukaan. Skenaariot käytöstä ja tuotannosta luovat perustan, josta varsinainen toimijoiden vuorovaikutukseen perustuva markkinakehitys nousee.

Kaasun hinta ei riipu pelkästään kaasun tuotantokustannuksista vaan mitä suurimmassa määrin sen kanssa kilpailevien energianlähteiden hinnasta. Sen vuoksi tällä mallilla ei päästä kiinni markkinahintaan. Malli kuitenkin pystyy kuvaamaan kaasun tuotantokustannukset pääluokittain, minkä vuoksi sillä voidaan laskea kaasun markkinahinnan alaraja.

5.1.4 Siirtoyhteydet

WEO:n skenaarion mukaan Euroopan tuonti Venäjältä ei juuri kasva vuoteen 2030 mennessä. Tällöin ei siis ole tarvetta uudelle putkikapasiteetille. Mahdollinen Itämeren putki toisi vaihtoehdoisen reitin Venäjältä Eurooppaan, mikä parantaisi siirron luotettavuutta. Venäjän putkikapasiteetin Eurooppaan on oletettu kasvan malliajoissa noin puolet Itämeren putken kapasiteetista (30 bcm). Se valmistuu aikaisintaan 2016.

Pitkään suunniteltu Nabucco-putki avataan mahdollisesti vuonna 2014. Kaasua siihen syöttävät Kaspianmeren alueen tuottajat ja myöhemmin myös Iran. Muutoin ei Lähi-itää nyt esiteltävissä simuloinneissa kytketä putkella Eurooppaan. Afrikasta rakennetaan uutta putkikapasiteettia 30 bcm. Sitä alkaa syöttää myös Nigeria Saharan poikki rakennettavan uuden 25 bcm putken välityksellä. Se toteutuu aikaisintaan 2020.

Taulukko 5. Putkikaasulinjat yksikössä bcm. Suluissa olevat luvut kuvaavat joko uutta kapasiteettia tai mahdollista laajennusta. Ensimmäinen sarake kertoo putkilinjan päätepisteen, sarakkeet kolmannesta eteenpäin ovat kaasun tuottajia.

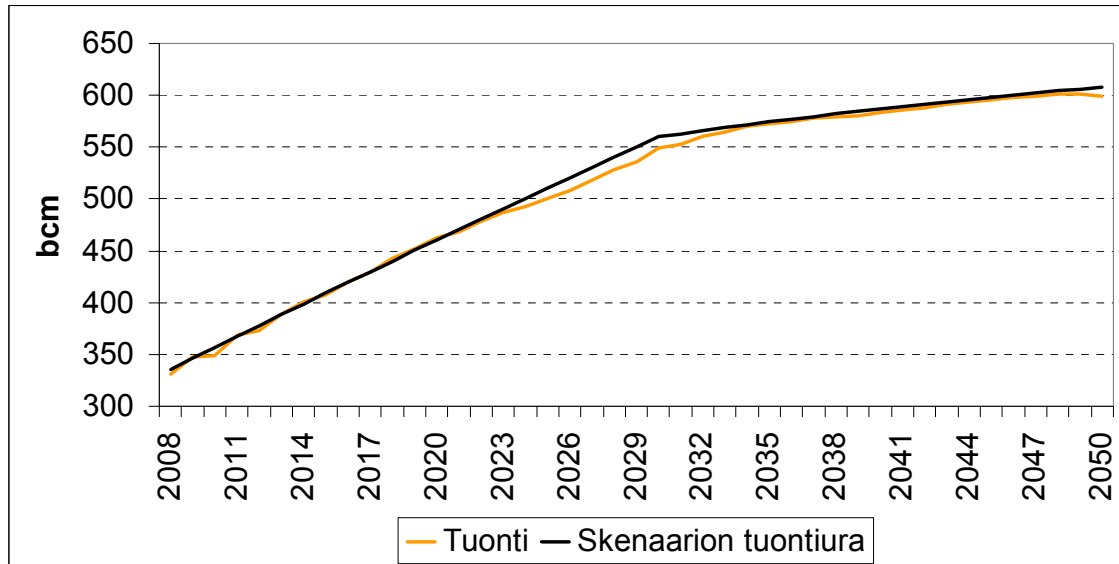
Vast.ottaja	Summa	Norja	Venäjä	Pohj.- Afrikka	Nigeria	Kaspia	Iran	Nabucco
EU	315+(60)	95	170	50+(30)				(30)
P.-Afr.	(25)				(25)			
Venäjä	70					70		
Nabucco	(30)					(20-30)	(10)	

LNG:n vastaanottokapasiteettia rakennetaan Euroopassa siten, että sen kapasiteetti riittää. LNG-toimituksen pullonkaulat, jos niitä ilmenee, sijaitsevat tuotantopäässä.

5.2 Perusura

Euroopan, USA:n ja Aasian kaasun kysyntä muuttuu hinnan mukaan. Tuottajien oma kulutus ei sitä eksplisiittisesti ole, mutta kaasun niukkuustilanteessa sekin joustaa hinnan mukaan. Euroopan tuontiskenaarion toteutuminen deterministisessä mallilaskelmas-

sa kuvan 16 mukaisena on mahdollista vain, kun tuontihinta valitaan sopivalla tavalla. Mallin kalibrointi tehdään siis tuontihintaodotuksia asettelemalla. Kuvassa 16 on riittävän tarkasti skenaarion toteuttava sovitusesimerkki.

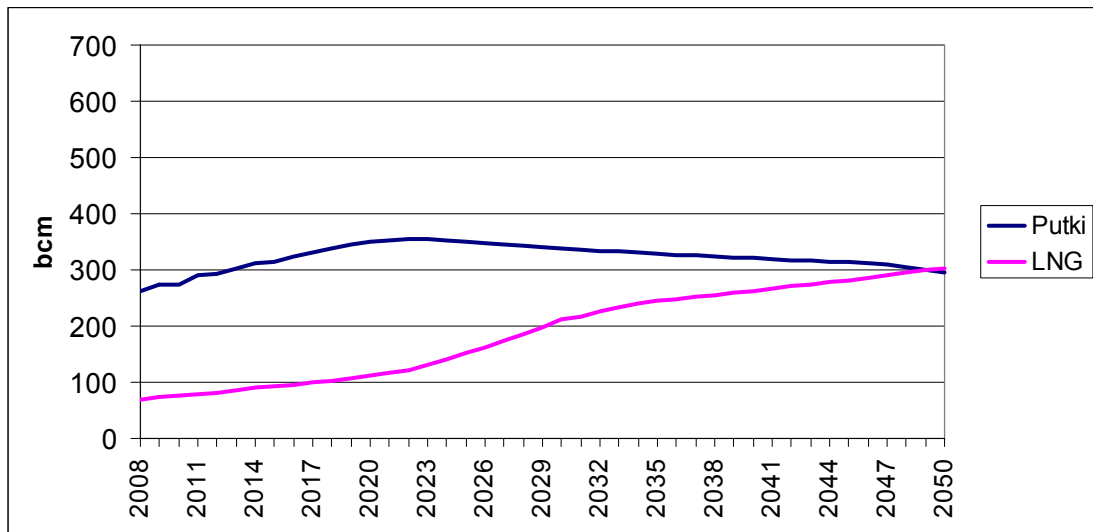


Kuva 16. Perusuran tuonti verrattuna tuontiskenaarioon.

Pienet poikkeamat johtuvat tuotanto- ja siirtojärjestelmän viiveellisestä sopeutumisesta kysynnän kasvuun.

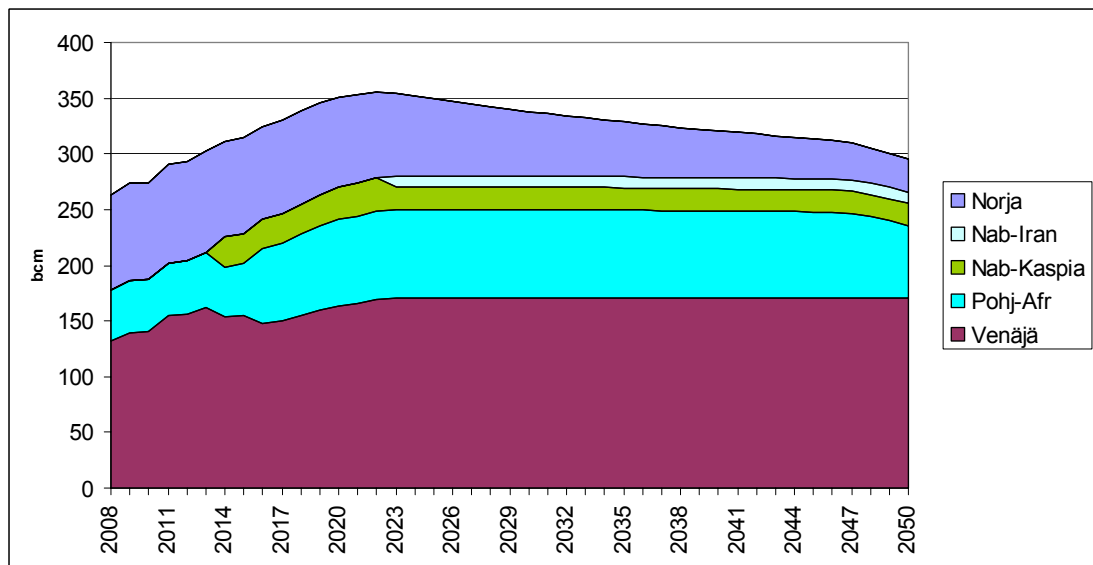
Eurooppa ostamat putkikaasu- ja LNG-määrät vaihtelevat kapasiteettien ja hintojen sanelemissa suhteissa (ks. kuva 17). Jakson alussa putkikapasiteetit kasvavat ja molempien tuotteiden kasvu on suunnilleen samanlaista. LNG:n tuonti kuitenkin jatkaa tasaista nousua koko tarkastelujakson, kun taas putkikaasun määrä vähenee. Se johtuu Norjan kaasuvarojen ehtymisestä.

5. Esimerkkiajoja



Kuva 17. Euroopan tuonti eri tuotteissa.

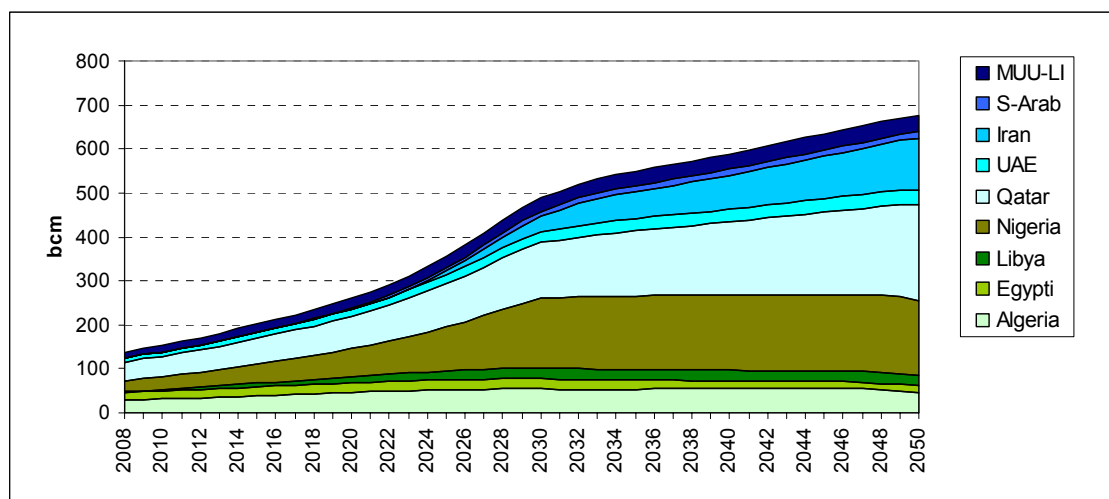
Putkikaasun tuonti voidaan yksiselitteisesti jakaa lähtömaille. Oheisessa kuvassa (kuva 18) nähdään Euroopan ostaman putkikaasun tuottajien markkinaosuudet tulevaisuudessa:



Kuva 18. Euroopan putkikaasun tuottajat. Nab-Iran tarkoittaa Iranin syöttämää määrää Nabucco-putkeen. Vastaavasti Kaspia viittaa Kaspianmeren tuottajavaltioihin.

Putkikaasun tuonnin vähentyminen johtuu Norjan varojen ehtymisestä. Iran ottaa kolmanneksen markkinaosuuden Nabucco-putken syötöstä 2020-luvulla.

Euroopan LNG-tuontia ei mallin tuloksista voida kohdentaa tuottajamaille, koska markkinoilla osto ja myynti ovat anonymiä ja USA ja Aasia ovat ostajia samalla markkinalla. LNG:n tuotanto maittain selviää kuvasta 19.

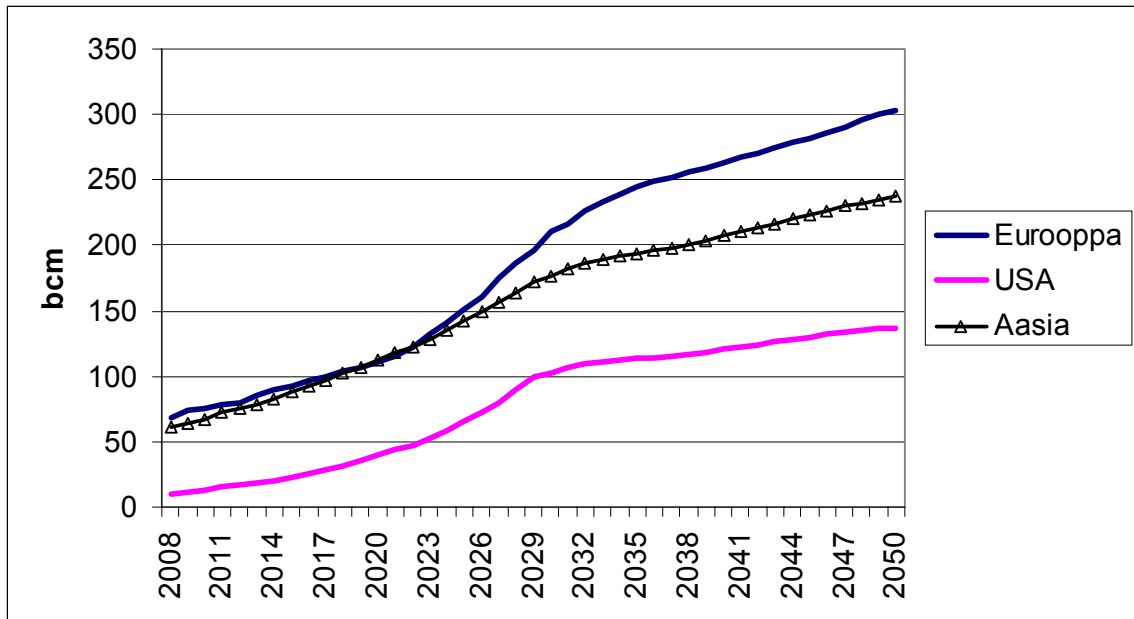


Kuva 19. LNG:n tuotanto.

Voidaan olettaa, kuten WEO:n skenaariossakin, että Afrikka toimittaa kaasua etupäässä Eurooppaan ja Lähi-idän maat huolehtivat lopusta. Afrikka on lähempänä Eurooppaa kuin Lähi-itä, mikä antaa etua. Afrikan kaasun vienti on WEO:n skenaarion verrattuna hieman suurempi ja Lähi-idän vastaavasti hieman pienempi. Näiden alueiden tuotannon summa on sama kuin WEO 2008:ssa. Tämä on hyvä lähtökohta myöhemmin tehtävälle Monte Carlo -analyysille. Sitä ennen tarkastellaan vielä perusuran piirteitä.

LNG-markkinan ostajat hankkivat kaasun kuvan 20 esittämällä tavalla.

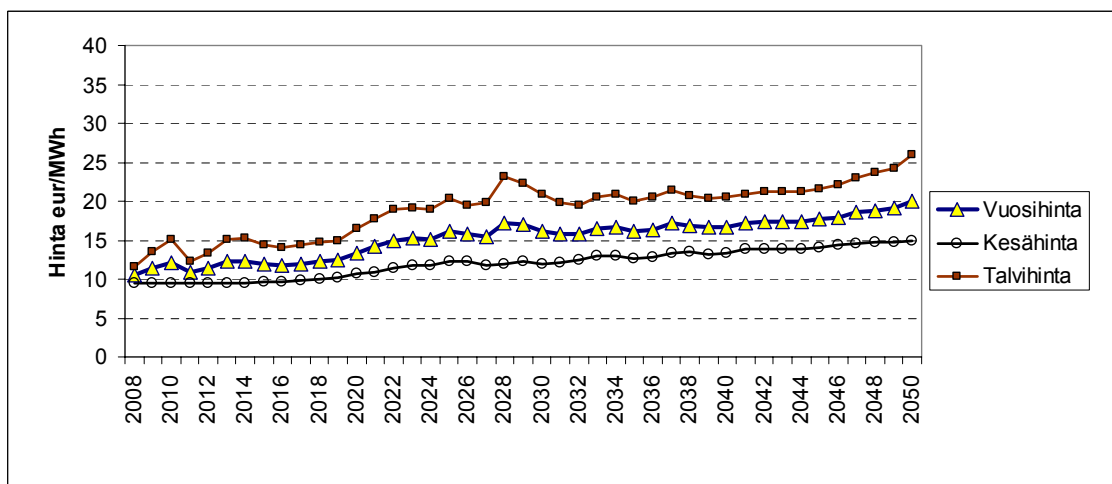
5. Esimerkkiajoja



Kuva 20. LNG-markkinan ostajat.

LNG-markkinoilla vallitsee jonkinasteinen niukkuus talviaikana koko tarkastelujakson ajan, mutta Eurooppa onnistuu hankkimaan tarvitsemansa määrän kaasua tuottajien pyrkinessä seuraamaan kysynnän kasvua. Kesällä tuotantokapasiteetti riittää kattamaan kysynnän.

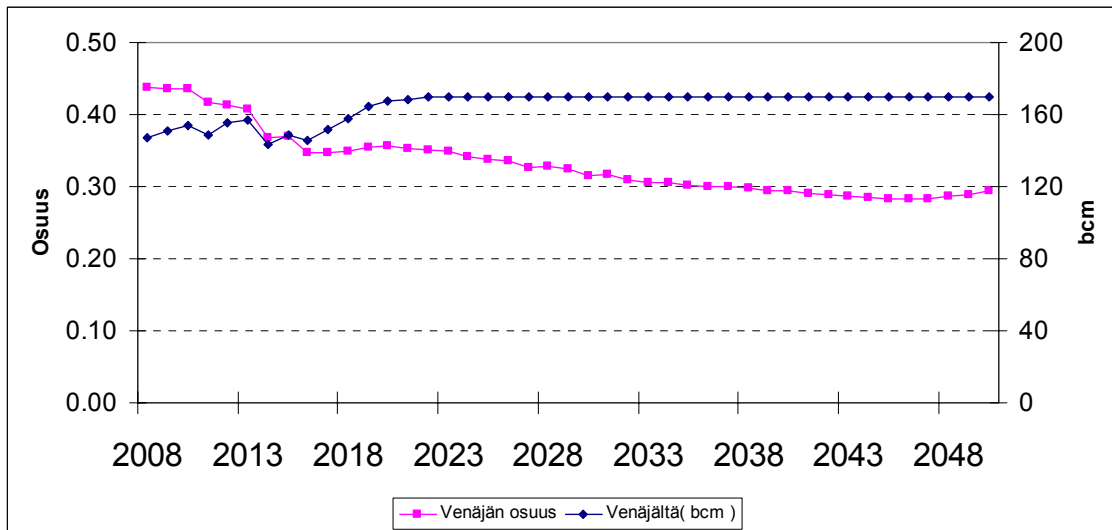
Hinnat myötäilevät tapahtumien kulkua. Mitään suurempia muutoksia ei tapahdu tarkastelujaksolla, kuten kuva 21 osoittaa.



Kuva 21. Keskimääräiset hinnat perusuralla.

Vuoteen 2030 saakka LNG:n talvihinta nousee, mutta sen jälkeen oletetaan USA:n ja Aasian kysynnän putoavan kolmasosaan. Kun kysyntäpaine helpottaa, hinta lähtee myös alamäkeen ja Euroopan mahdollisuudet kaasun ostoon paranevat. Putkikaasun hintakehitys on nouseva, minkä vuoksi myös kaasun vuosihinta kallistuu koko tarkastelujakson ajan. Kaasun hinnat (toimitettuna Euroopan reunalle) perustuvat mallissa arvioituihin pitkän aikavälin yksikkökustannuksiin, minkä vuoksi niitä ei voi pitää hintaennusteina. Hintatieto tarvitaan, koska markkinoiden kehittyminen perustuu suhteellisiin hintoihin. Hinnan taso voi poiketa todellisesta markkinahinnasta, mutta hintojen muutokset aiheuttavat tuotanto- ja kulutus päätöksiä, jotka juuri ovat mielenkiinnon kohteena.

Venäjän osuus Euroopan tuontikaasusta ja Euroopan Venäjältä ostaman kaasun määrän kehitys on esitetty kuvassa 22.

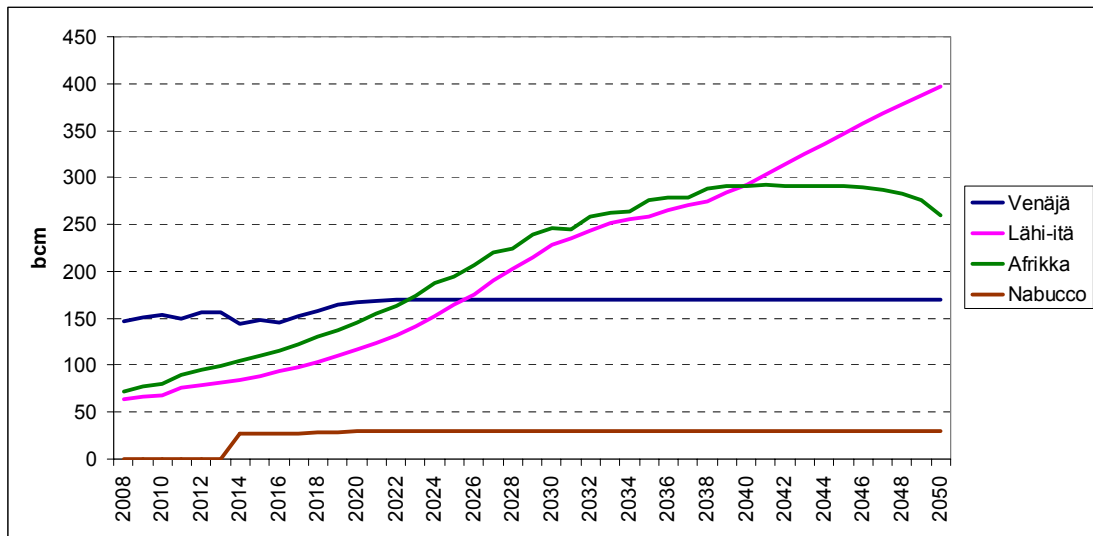


Kuva 22. Venäjä Euroopan kaasuntoimittajana.

Koska putkikapasiteetti ei kasva, pienenee Venäjän osuus kasvavan tuonnin oloissa väistämättä. Osuus putoaa lähes puolesta noin neljännekseen. Tehdyt oletukset tuotannon laajenemisesta mahdollistavat viennin jatkumisen nykyisellä tasolla. Putkikaasun kilpailukyky säilyy hyvänä, mihin omalta osaltaan vaikuttaa keskimääräisen hinnan käyttö rajakustannushinnoittelun sijaan.

Yhteenvetona Euroopan tuonnin kokonaistilanne hankinta-alueittain näyttää seuraavalta (kuva 23):

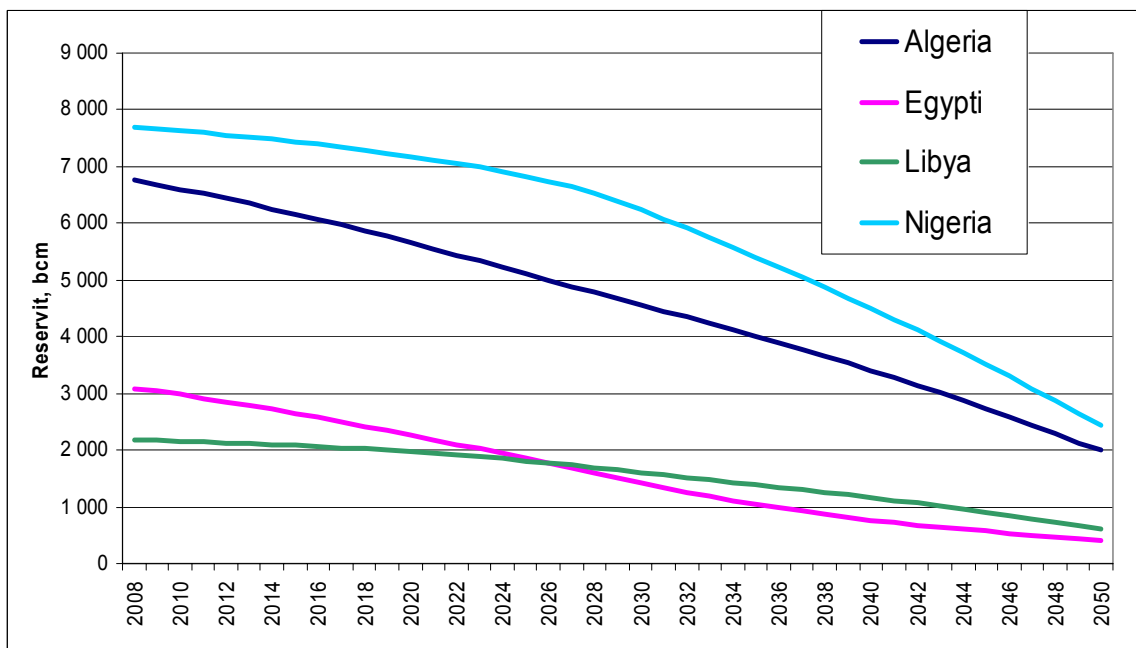
5. Esimerkkiajoja



Kuva 23. Tärkeimpien tuotantoalueiden vienti.

Lähi-itä ja Afrikka laajentavat tuotantoa yhtä jalkaa, mutta Afrikan resurssirajojen tullessa vastaan Lähi-itä jatkaa entiseen tahtiin, koska kaasua siellä riittää. Samoin Venäjän resurssit ovat laajat, mutta tuontia rajoittaa siirtoputkiston koko.

Afrikasta on skenaarion mukaan muodostumassa todella tärkeä kaasun toimittaja Euroopalle. Kuvassa 24 on esitetty Afrikan merkittävimpien tuottajien kaasun tuotanto perusuralla.



Kuva 24. Afrikan suurimpien tuottajien jäljellä olevien reservien määrä perusuralla.

Kaikkien kuvan 24 Afrikan maiden jäljellä oleva kaasumäärä on huvennut sangen vähiin tarkastelujakson lopulla. Tosin Algerian ja Nigerian varat ovat tarkastelujakson lopussa samaa suuruusluokkaa kuin Egyptin ja Libyan tarkastelujakson alussa.

5.3 Monte Carlo -simulointi

Monte Carlo -simulointi käyttää samoja lähtötietoja kuin yllä kuvattu deterministinenkin simulointi sillä erotuksella, että osa alkuarvoista arvioidaan epävarmoiksi, mistä syystä ne annetaan jakaumina yksittäisten lukujen sijaan. Toimitusketjun epävarmuudet voidaan jakaa markkinoiden kannalta kahteen osaan: tarjontaketjun epävarmuuksiin ja kysyntäepävarmuuksiin. Jälkimmäinen viittaa Euroopan, USA:n ja Aasian maiden ostotarpeiden epävarmuuteen. Tarjontaketjun epävarmuuksiin kuuluvat kaasuntuotantokapasiteetin laajentaminen, siirtokapasiteetin laajennusten käyttöönotto ja tuottajien oma kulutus. Siirtokapasiteetin käyttöönotto viittaa tässä sekä putkisiirtolinjojen rakentamiseen että LNG-tuotannon toteuttamiseen nesteytys, terminaalipalvelut ja tankkerikalusto huomioiden. Taulukkoon 6 on koottu simuloinnin epävarmat suuret.

Taulukko 6. Kenttiin ja putkilinjoihin liittyvä epävarmuus.

Kenttä	Aikaisintaan	Määrä	Epävarmuus
lisälöydös	2010	30 %	ajankohta
käyttöönotto	kenttäkoht.	geom. jak.	viive
tuotannon laajennus	kenttäkoht	0–10 v.	viive
Putkilinja		[bcm]	
Nabucco	2013	30	viive
Venäjäältä	2016	50	viive
Nigeria – P-Afr.	2020	25	viive

Tarjonnan epävarmuudet liittyvät kahteen seikkaan, jotka ovat a) kuinka paljon kaasua on ylipäänsä tuotettavaksi; ja b) millaisella aikataululla kaasun tuotanto- ja siirtojärjestelmä kehittyi. Kaasuresurssien todennetut varat oletetaan tässä realistisiksi. Epävarmuutta on kaasun arvioitujen lisävarojen määrässä ja niiden löytymisen ajankohdassa. Lisämäärä on määritelty log-normaaliksi jakautuneeksi keskiarvon ollessa 30 % nykyisistä tunnetuista varoista. Löydösten ajankohdan epävarmuus määritetään kahden parametrin, keskiarvon ja hajonnan, avulla. Löydösten määrän keskiarvon ajankohta arvotaan tasajakaumasta väliltä 0–50 vuotta. Sen mukaan vain osa lisälöydöistä tehdään tarkastelujakson aikana. Hajonnaksi voidaan valita esimerkiksi 15 vuotta.

5. Esimerkkiajoja

Tarjonnan ajoitukseen liittyvä epävarmuus tarkoittaa sitä, että tuotannon tai siirtojärjestelmän laajennukset viivästyvät, jolloin tuottajien tuotantokyky voi kasvaa hitaammin kuin ostajien kysyntä. Pieni niukkuus nostaa kaasun hintaa, mikä aiheuttaa joko kuluttajien siirtymisen muihin energialähteisiin tai kaasun säästöä. Laajempi puutos on energiajärjestelmän kannalta ongelmallisempi, jos tarvittavia energiaan liittyviä palveluja ei pystytä tuottamaan vaihtoehtoisilla tavoilla. Toteutettavien kaasuhankeiden aikataulu epävarmuus vaikuttaa oleellisesti kaasun saantivarmuuteen. Lähivuosisikymmeniksi kaasua kyllä riittää, mutta tuotanto- tai siirtohankeiden viivästyminen voi silti aiheuttaa kaasupulaa.

Toistaiseksi kaasun kauppa on perustunut pääasiassa pitkäaikaisiin sopimuksiin, joissa hankkeen toteutuksen riski jaetaan ostajan ja myyjän välillä. Nämä sopimukset luovat sen perustan, joka mahdollistaa tuotannon laajentamisen edellyttämät valtavat investoinnit. Putkisiirtoon perustuvat uudet suurhankkeet toteutunevat jatkossakin tähän tapaan, mikä ei tietenkään täysin poista epävarmuutta toteutusajankohdasta. Kaasun nesteytystekniikka kehittyy, minkä johdosta nesteytetyn ja putkessa siirretyn kaasun hintaero kaventuu. Lisäksi nesteytetyn maakaasun spot-kauppa on kasvanut viime vuosina, mikä on herättänyt ajatuksen, että LNG voisi kehittyä öljyn kaltaiseksi globaaliksi kauppatavaraksi vastaavine kaupankäyntitapoineen.

Venäjän uudet kaasuntuotantoalueet ovat tuotannon kannalta hankalissa paikoissa, mikä on omiaan viivyttämään hankkeiden toteutusta. Jamalin alueella maa-alueiden kentät otetaan käyttöön ensin ja sen jälkeen merialueet. Lähi-idän alueen uusiin kaasun viejiin lukeutuvat Saudi-Arabia ja Iran. Ensin mainitun on ennakoitu aloittavan viennin aikaisintaan 2015 ja Iran 2022. Aloitukset voivat viivästyä, kuten uusien kenttien ja putkilinjojen käyttöönottoakin. Tätä kuvataan geometrisella jakaumalla.

Putkisiirtolinjojen toteutusaikataulun epävarmuuksineen määrittää mallin käyttäjä. LNG:n laajennushankkeet etenevät kysynnän mukaan. Ne seuraavat toimialan kykyä sopeutua kysynnän kehitykseen.

Kolmas epävarmuuden tyyppi on kaasun kulutuksen epävarmuus. Epävarmuutta on USA:n ja Aasian ostaman LNG:n määrässä. Tässä tarkastellaan nimenomaan sitä osaa ostosta, joka kohdistuu Euroopan lähialueiden tuotantoon. Kaikkien tuottajien oman kulutuksen kasvutrendi noudattaa WEO 2008:n skenaariota. Kasvu on epävarmaa USA:ssa ja Aasiassa. Kulutuksen kuvauksen määrittelyyn tarvitaan neljä suuretta:

1. kulutus simuloinnin alkuhetkellä, $t = 0$
2. keskiarvokulutus hetkellä $t = T$
3. 95 % luottamusvälin alaraja hetkellä $t = T$
4. hetken T arvo.

WEO 2008:n mukaan $t = 0$ vastaa vuotta 2006 ja $t = T$ vastaa vuotta 2030. Keskiarvokulutus on suoraan ko. skenaarion kulutusluku vuodelle 2030. Oletetaan kulutuksen

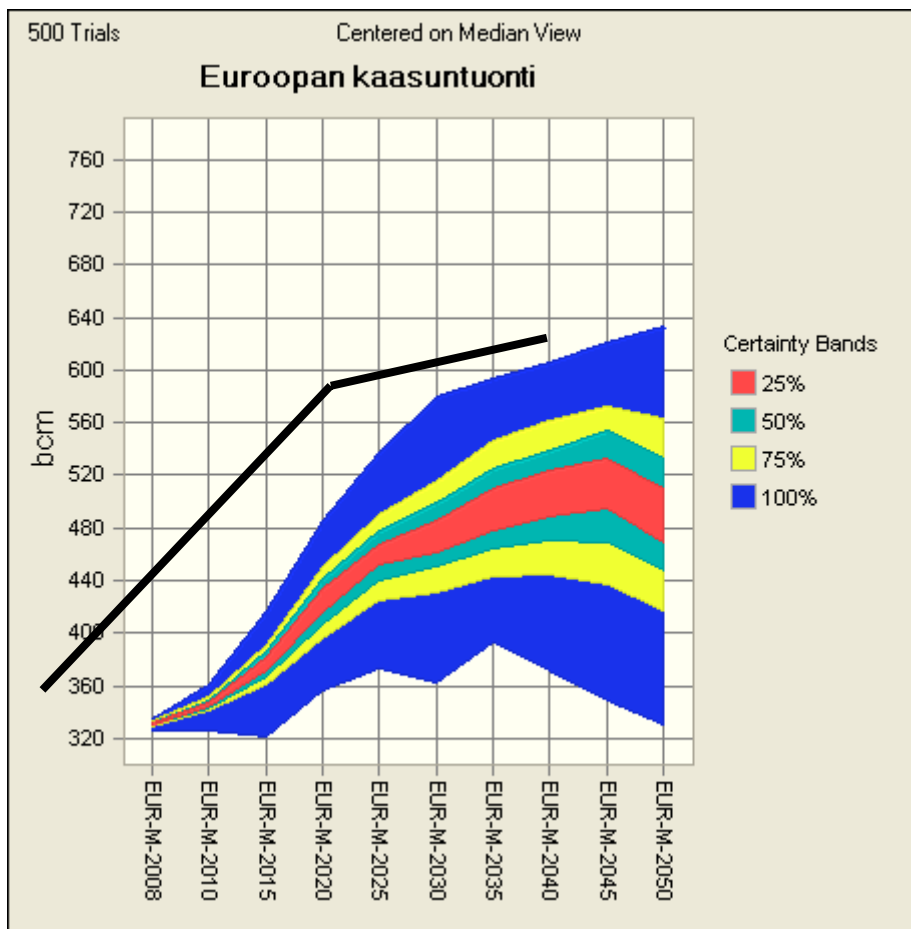
alarajan olevan tuottajille vuoden 2006 ja 2030 kulutuksien keskiarvo (Venäjälle sama kuin vuonna $t = 0$) ja USA:lle ja Aasialle puolet vuoden 2030 kulutuksesta.

5.3.1 Simuloinnin tuloksia

Seuraavat tuloskuvat perustuvat viidensadan eri tapauksen tarkastelun tuottamiin tuloksiin.

Euroopan kaasutulevaisuuden kannalta ensinnäkin Venäjän ja Afrikan kaasuntuotannon kehittyminen on hyvin merkittävää, sillä nämä ovat Euroopan tuonnin pääilman suunnat. Toinen merkittävä osa-alue on LNG-markkinan kehittyminen ja USA:n ja Aasian LNG-hankinnan kohdentuminen Euroopan tärkeille hankinta-alueille: saako Eurooppa suunnitellut määrät LNG:tä vai vievätkö laivat sen itään tai länteen? Kolmas keskeinen epävarmuus liittyy Afrikan varojen riittävyyteen: kuinka pitkäksi ajaksi Afrikan resurssit riittävät oman kulutuksen ja vientikysynnän vaihdellessa?

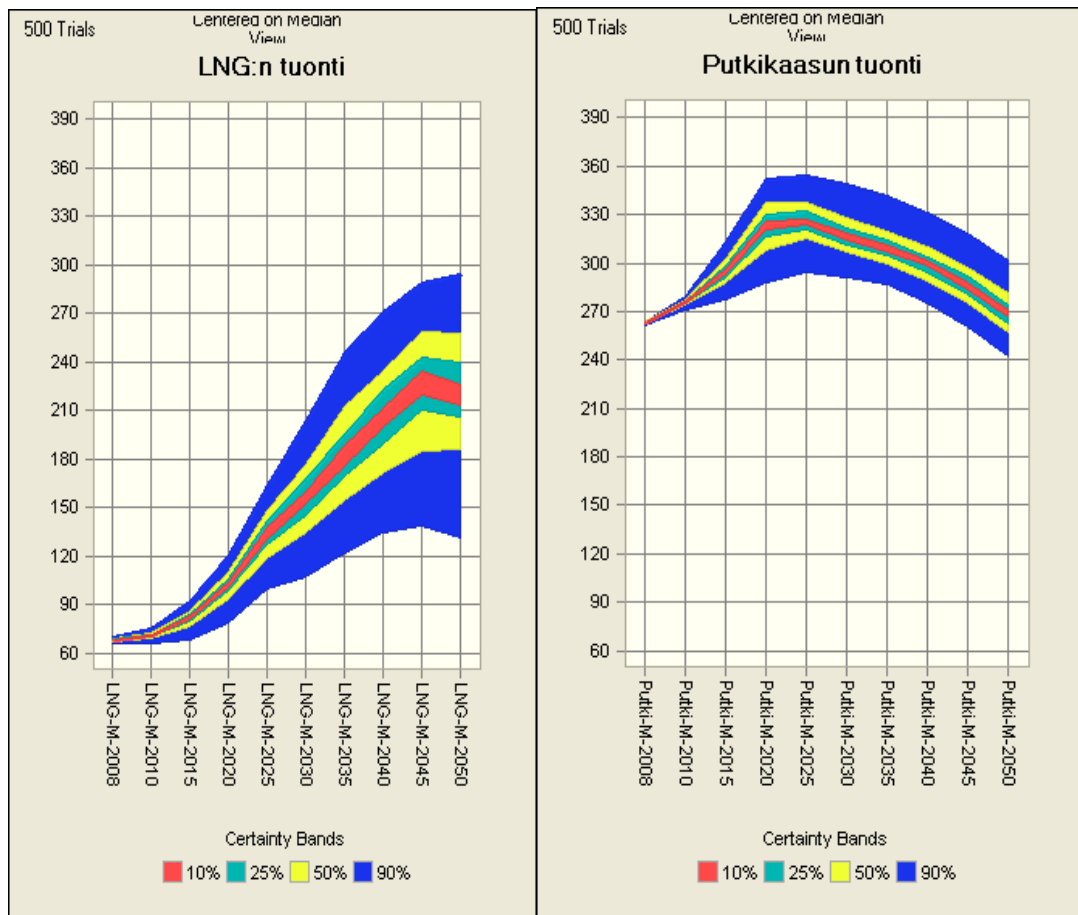
Tuottajien vientikyky riippuu tulevaisuudessa siitä, millä nopeudella uusia kenttiä otetaan käyttöön.



Kuva 25. Kaasun tuonti verrattuna skenaarioon.

5. Esimerkkiajoja

Skenaariotuonti osoittautuu tuonnin ylärajaksi, sillä lähes kaikki tapaukset ovat sellaisia, joissa skenaariotuonti alittuu. Huonoimmassa tapauksessa vuonna 2050 tuonti on yhtä suurta kuin nykyään, parhaimmillaan kaksi kertaa niin suuri. Vaihteluväli on siis melkoisen käytetyin oletuksin. Lähdetään purkamaan tulosta osatekijöihin ja etsimään syytä tälle melko yllättävälle lopputulemalle. Tarkastellaan tuontia ensin tuotteittain (kuva 26).



Kuva 26. Euroopan kaasuntuonti nesteytettynä ja putkessa.

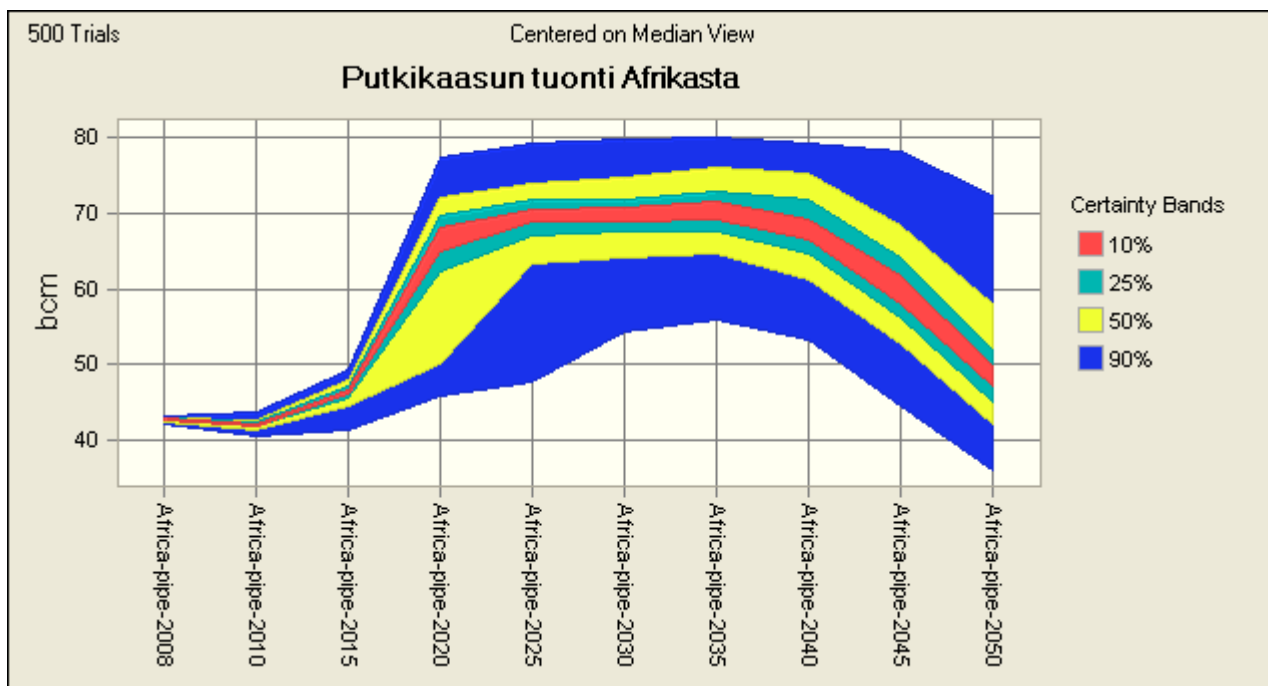
LNG-tuonin vaihtelu on huomattavasti suurempaa kuin putkikaasun. Putkikaasun tuonin vaihteluun vaikuttavat uusien putkilinjojen valmistumisajankohta ja niitä syöttävien kaasukenttien resurssit. Tuonti kääntyy laskuun vuoden 2025 jälkeen, mikä tarkoittaa, että kaasua ei ole riittävästi tarjolla putkitoimituksiin, koska kaasuputkiston kapasiteetti ei vähene ajan kuluessa. Lähinnä syynä on Norjan kaasuvarojen ehtyminen, mutta Afrikallakin on osuutensa, kuten kuva 27 osoittaa.

Perusuraan verrattuna putkikaasun tuonti jää keskimäärin noin 10 % pienemmäksi. LNG:n tuonissa perusuran ja Monte Carlo -simuloinnin ero on paljon suurempi. Euroopan ostama LNG tuotetaan joko Afrikassa tai Lähi-idässä. Afrikan tuotanto laskee

resurssien ehtyessä, mutta Lähi-idässä kaasua riittää. Tämä on asian toinen puoli. Toinen seikka on kilpailu: putkikaasumarkkinalla Eurooppa on ainoa ostaja, LNG:ssä Eurooppa kohtaa USA:n ja Aasian kilpailun. Tarjonnan epävarmuuden lisäksi tulee kilpailupaine. Tuottajan kannalta se voi olla hyvä: myydään sinne, missä on maksukykyisin ostaja (jos pitkät sopimukset eivät sido).

Tuotu määrä vaihtelee LNG:n tarjonnasta, Euroopan kanssa kilpailevasta kysynnästä, kaasun hinnasta ja putkikaasun saatavuudesta riippuen. Euroopan LNG-tuonnin määrä on vuonna 2050 90 % todennäköisyydellä välillä 130–300 bcm.

Afrikan putkikaasun vienti perustuu Pohjois-Afrikan valtioiden kaasuressseihin. Viennin kehittyminen on kuvan 27 mukaista.

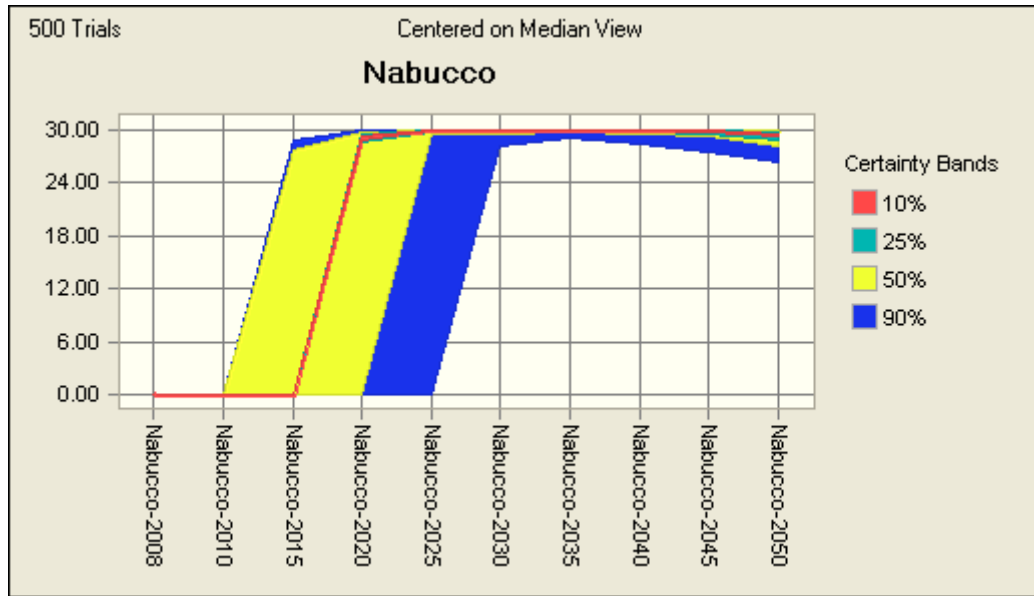


Kuva 27. Afrikan putkikaasun vienti Eurooppaan.

Kaasuvarat alkavat ehtyä keskimäärin 2030-luvun puolivälissä. Nigeria ei ole tässä laskelmassa putkiyhteydessä Pohjois-Afrikan putkiverkkoon. Jos se olisi, joko tuonnin tasoa voitaisiin nostaa tai määrän vähenemistä viivyttää kuvan 27 tapaukseen verrattuna.

Nabucco-linja toimittaa kapasiteettinsa mukaisesti koko tarkastelujakson (kuva 28).

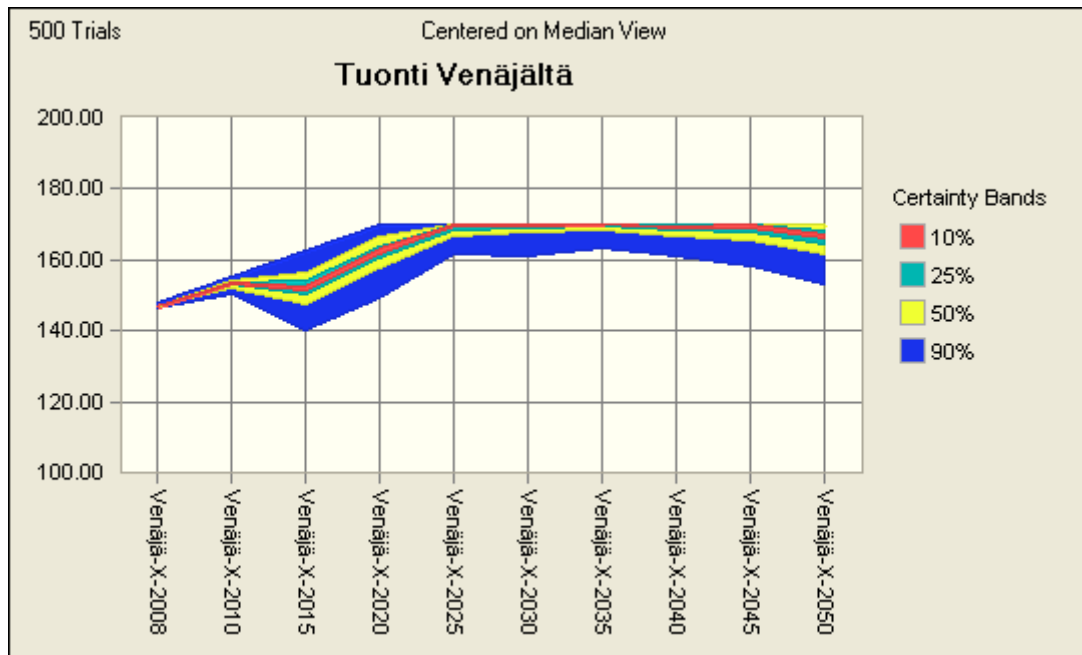
5. Esimerkkiajoja



Kuva 28. Nabucco-linjan toimitus Eurooppaan.

Leveä käyrän osuus kuvaa epävarmuutta siitä, milloin putki valmistuu. Kun se valmistuu, sen kapasiteetti on 30 bcm, ja se hyödynnetään laskelmien mukaan täysimääräisesti. Sitä syöttävät aluksi vain Kaspianmeren valtiot mutta myöhemmin myös Iran.

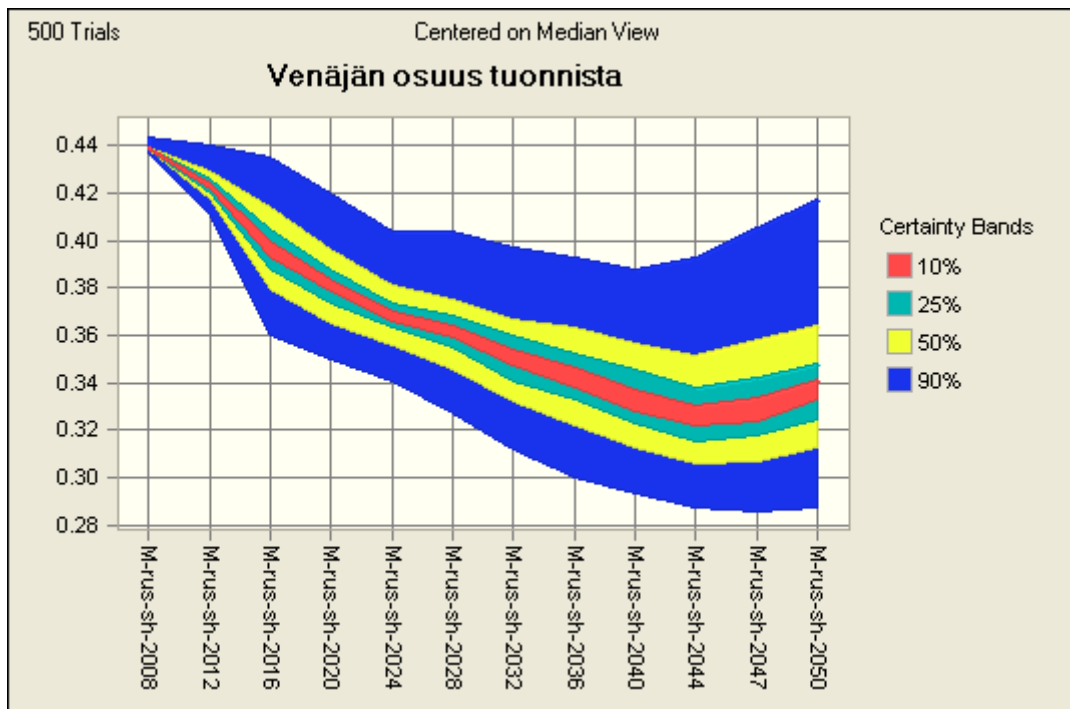
Venäjä on tärkein putkikaasun viejä Eurooppaan ja sen vienti kehittyy kuvan 29 osoittamalla tavalla.



Kuva 29. Tuonti Venäjältä.

Venäjän tuonnin epävarmuus liittyy lähinnä siihen, miten tarkastelujakson alkupuolella kaasua riittää vientiin, siis miten Venäjän oma kulutus kehittyy ja miten kaasuntuotanto kasvaa. Putkikapasiteetin ei oleteta efektiivisesti kasvavan, eli jos uusi Itämeren putki rakennetaan, se korvaa vastaavan määrän Ukrainan läpi kulkevaa putkikapasiteettia. Siirron luotettavuus paranee lisäkapasiteetin myötä. Venäjän kaasuvarat ovat niin mittavat, etteivät ne lopu tarkastelujakson aikana. Ne sijaitsevat hyödynnettävyyden kannalta vaativissa paikoissa, mikä lisää epävarmuutta niiden saatavuudesta.

Venäjän kaasun osuus Euroopan kaasun tuonnista kehittyy kuvan 30 mukaisesti.



Kuva 30. Venäjän osuus Euroopan tuonnista.

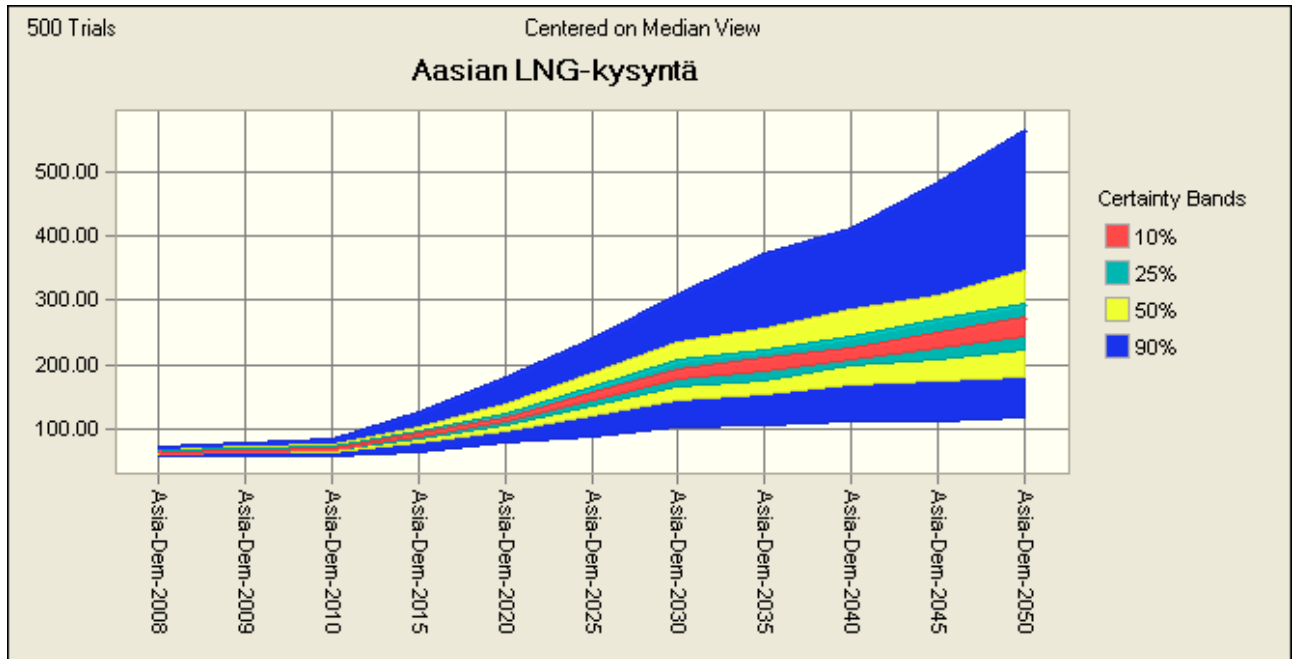
Käytetyin oletuksien Venäjän osuus laskee vääjäämättä noin puolesta kolmannekseen, vaikka tuontimäärä hieman kasvaisikin nykytasolta. Venäjän oma kaasun kulutuksen trendikasvu, 0,7 %, on WEO 2008:n skenaarion mukainen. Hajonnaksi on arvioitu vaatimaton noin 2 %.

Putkikaasun tuonnin väheneminen alun kasvun jälkeen johtuu siis Norjan ja Afrikan toimitusten vähenemisestä, mikä puolestaan on seurausta kaasuvarojen ehtymisestä. Afrikan vientiä kasvattaisi Nigeriasta Saharan poikki rakennettava putki, mutta eivät Nigerian varatkaan nykytietämyksen valossa ole ehtymättömät. Jos putki tulee Eurooppaan, Euroopan ei tarvitse kilpailla sitä pitkin saatavasta kaasusta suoraan minkään toisen ostajan kanssa, kuten LNG-toimituksissa.

LNG:n tilanne kehittyy toisin. Venäjällä ei oleteta olevan sillä markkinalla Euroopassa minkäänlaista roolia, vaan tärkeimmät tuottajat löytyvät Lähi-idästä ja Afrikasta. Aa-

5. Esimerkkiajoja

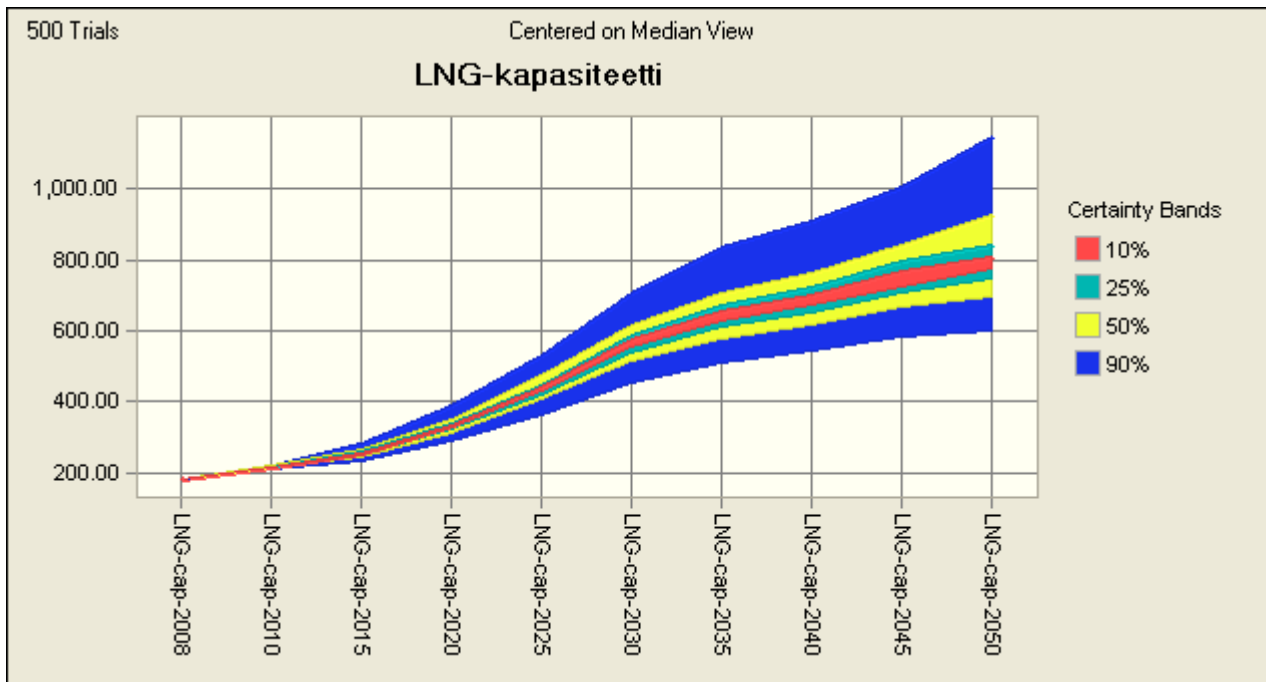
sia ja USA kilpailevat Euroopan kanssa samoista toimituksista. Ohessa, kuva 31, on esimerkkinä Aasian kysynnän kehittyminen seuraavan kolmen vuosikymmenen aikana. Kasvun trendi on WEO 2008:n mukainen vuoteen 2030 saakka. USA:n tuonnin kehittyminen on rakenteeltaan samanlaista mutta määrältään keskimäärin vähäisempää.



Kuva 31. Aasiaan menevä LNG-virta.

Vuonna 2030 kulutuskasvun trendi leikkautuu kolmasosaan aiemmasta. Tämä oletus pätee kaikkeen kulutukseen, myös tuottajien omaan kaasunkäyttöön.

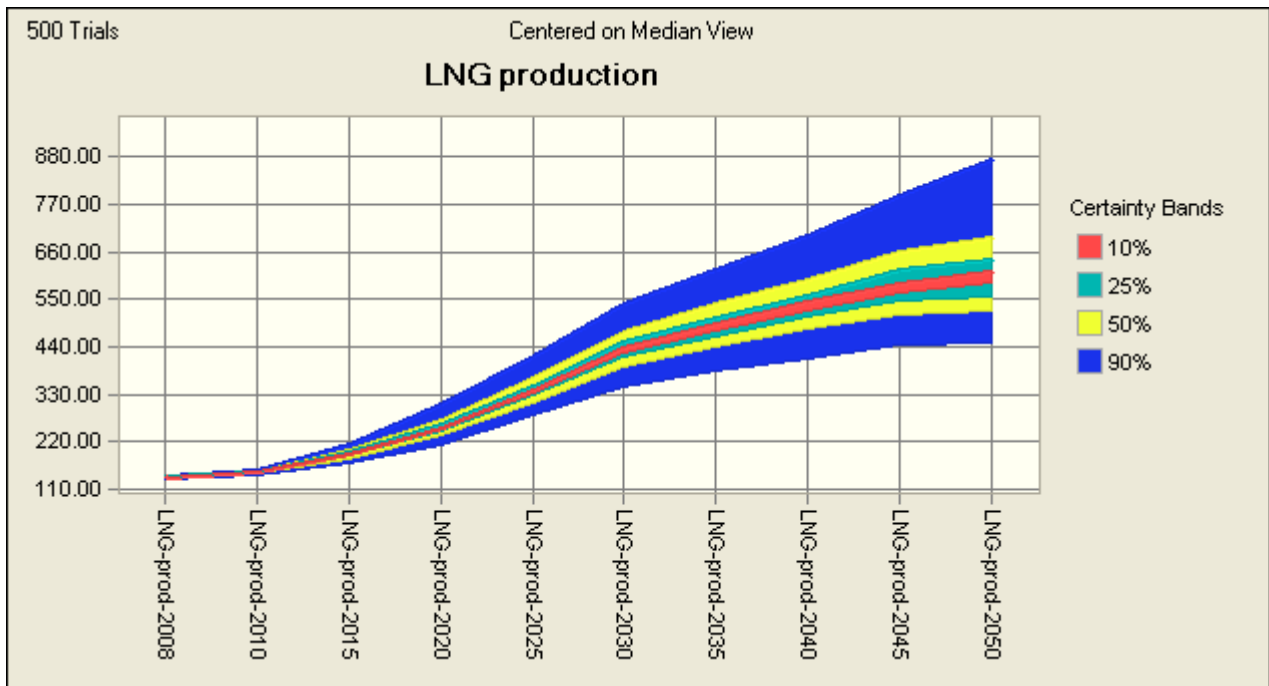
Tarkastellaan vielä LNG-tuotantokapasiteetin kehitystä Lähi-idässä ja Afrikassa kuvan 32 avulla.



Kuva 32. Kaasun nesteytyskapasiteetin kehitys.

Keskimäärin kapasiteetti kehittyy vain hieman hitaammin kuin perusuralla jääden siitä vain noin 5 %. Tuotanto kehittyy kuvan 33 mukaisesti. Tuotanto on kapasiteettia vähäisempi vuodenaikavaihtelusta johtuen.

5. Esimerkkiajoja

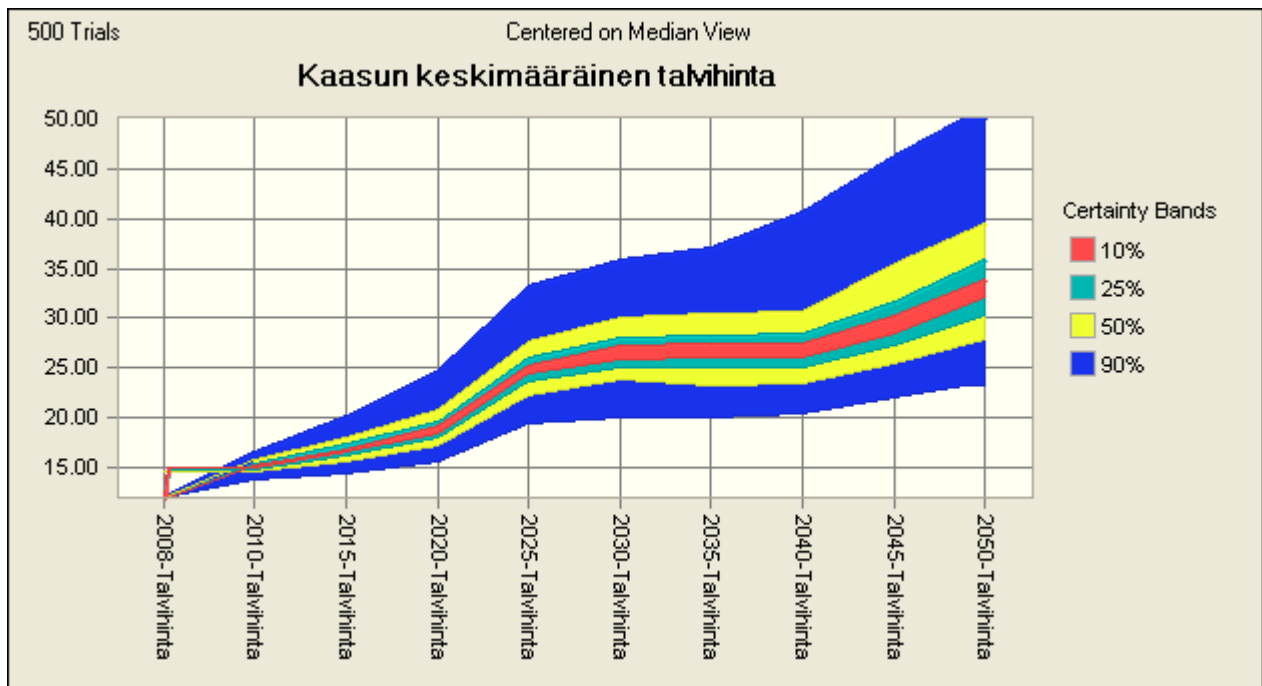


Kuva 33. LNG:n tuotanto Afrikassa ja Lähi-idässä.

Epävarmuudesta johtuen tuotanto jää vuonna 2050 keskimäärin noin 10 % pienemmäksi kuin perusuralla. Vaihtelut ovat suuria, sillä vuonna 2050 90 % tapauksista jää kuvan mukaan välille 440–880 bcm. Hyvän saatavuuden tapauksessa tuontimäärä on siis kaksinkertainen niukimpaan tilanteeseen verrattuna. Ja tällöin on vielä hajonnan viimeiset kymmenen prosenttia jätetty tarkastelun ulkopuolelle.

Kilpailusyistä johtuen Eurooppa ei keskimäärin saa niin paljon LNG:tä kuin perusuralla vaan selvästi vähemmän. Pääosa perusuran ja epävarmuussimuloinnin tulosten eroista johtuu juuri LNG:n vähäisemmästä tuonnista.

Kuva 34 esittää kaasun talvihinnan kehittymisen ajan myötä.



Kuva 34. Talviajan keskimääräinen kaasun hinta.

Hintamuutokset selittyvät kysyntä- ja tarjontatilanteella: perusuraan verrattuna tarjonta on kysyntään nähden keskimäärin niukempaa, mikä johtaa nousevaan kaasun hintaan. Tämä poikkeaa melkoisesti siitä hintakuvasta, joka deterministisessä tapauksessa perusuralla saatiin. Hintataso on kuitenkin vallitsevaan markkinahintaan nähden alhainen. Syitä alhaiseen hintatasoon voivat olla seuraavat tekijät: kaasun tuotantokustannukset ovat mallissa liian alhaiset, putkikaasun hinnoittelu perustuu todellisuudessa kilpailevan tuotteen (LNG ja/tai öljy) hintaan, mallissa käytetään vain tuotantokustannuksen keskimääräistä pitkän aikavälin arvoa tai tarjontaa on systemaattisesti enemmän todelliseen tarjontaan verrattuna. Malli antaa kuitenkin tietyn perustason, jonka alle hinnan ei voi olettaa markkinoilla painuvan. Seuraavan vuoden tavoiteltava kaasun tuontimäärä perustuu vuoden keskimääräiseen hintaan, ei talvihintaan. Perusuran tuontimäärää ja -hintaa käytetään tällöin referenssiarvoina, joiden perusteella määräpäätös tehdään. Tässä, kuten muuallakin mallissa, hintasuhteilla, ei absoluuttisella arvolla, on merkitystä päätöksenteossa.

Hinnan nouseva trendi johtuu pääosin putkikaasun hinnan noususta. Venäjällä on putkikaasumarkkinalla merkittävä osuus ja uusien kenttien tuotantokustannukset on arvioitu huomattavasti nykytuotantoa kalliimmaksi. Muualla tuotetun kaasun tuotantokustannukset on oletettu vakioiksi, ja vain varojen ehtyminen nostaa kustannuksia, kuten mallikuvauksessa on kerrottu.

5. Esimerkkiajoja

5.3.2 Yhteenveto simulointilaskelmista

Perusuran ja Monte Carlo -simuloinnin tulosten vertailun perusteella voidaan keskeiset tulokset tiivistää seuraavasti:

- Epävarmuuden huomiointi johti huomattavasti alhaisempaan kaasun tuonnin määrään. Perusura edustaa käytetyin oletuksin lähinnä tuonnin ylärajaa, ei keskimääräistä arvoa.
- Suurin muutos perusuraan verrattuna oli nesteytetyn maakaasun tuonnin alhaisempi taso.
- LNG:n tuonti jäi perusuraa alhaisemmaksi lähinnä USA:n ja Aasian kilpaillevan kysynnän vuoksi.
- Afrikan kaasubarat alkavat ehtyä tarkastelujakson loppupuolella. Tämä tapahtuu niin perusuralla (aivan lopussa) kuin epävarmuudet huomioivassa simuloinnissakin.
- Vaikka kaasun hintataso on todellisuuteen verrattuna alhainen, epävarmuudet nostivat sen reilusti korkeammaksi kuin perusuralla.
- Monte Carlo -simulointi antaa huomattavasti enemmän informaatiota tapahtumien mahdollisesta kulusta kuin vain joidenkin skenaarioiden arviointi. Yksittäisten toimijoiden investointi-, tuotanto- ja hinnoittelupäätösten tekeminen kaipaa voimakkaammin tulevaisuuteen suuntautuvaa otetta. Tämä on selkeä jatkokehityshanke.

6. Yhteenveto

Hankkeessa on laadittu Monte Carlo -simulointimalli, joka kuvaa Euroopan maakaasun tuontitarpeen tyydyttämistä. Tuonti jaetaan kahteen osaan, putkikaasuun ja nesteytettyyn maakaasuun. Näiden tuotteiden tavoitellut tuontimäärät määräytyvät hintasuhteiden perusteella. Putkikaasua toimittavat Norja, Venäjä ja Pohjois-Afrikan maat. Uutena putkilinjana laskelmissa oletetaan Nabucco-linjan avautuvan 2010-luvun puolivälissä. Sitä syöttävät aluksi Kaspianmeren ympärysvaltiot ja myöhemmin myös Iran. Nesteytetty maakaasu (LNG) ostetaan markkinoilta, joilla Euroopan kanssa LNG:stä kilpailevat USA ja Aasia. LNG:tä tuottavat Afrikan ja Lähi-idän valtiot.

Tuontitarve määritellään hintariippuvaksi. Tuonnin perusura perustuu IEA:n uusimpaan *World Energy Outlook (WEO) 2008*:ssa julkaistuu skenaarioon. Malli viritetään kaasun hintaa asettelemalla siten, että perusuran tuontimäärä toteutuu.

Tämän jälkeen määritetään epävarmuudet, joita ovat kaasuresurssien määrät, kaasukenttien käyttöönoton viivästymiset, uusien putkilinjojen tai jo olemassa olevien siirto-putkistojen laajennusten valmistumisajankohdat sekä USA:n ja Aasian LNG-kysynät.

Epävarmuuksien huomioiminen muuttaa oleellisesti sitä kuvaa, jonka perusuran deterministinen käsittely antaa. Euroopan kaasuntuonti jää tuntuvasti perusuran määriä alhaisemmaksi, mikä johtuu sekä kaasun tarjonnasta että kysyntäkilpailun kovuudesta. Keskeiset tarjonnan epävarmuudet liittyvät uusien kenttien käyttöönoton ja siirto-putkistojen toteutusten viiveisiin. Kaasun vientituotantoon vaikuttaa paitsi kaasuvarojen määrä, niin myös tuottajien oman käytön kehittyminen. Kysyntäpuolen epävarmuudet koskevat Euroopan kanssa kilpailevien USA:n ja Aasian kysynnän määrää ja siitä johtuvaa kilpailun luonnetta. Laskentaesimerkit osoittavat, että epävarmuuksien huomioiminen on tärkeää tulevaisuuden vaihtoehtojen arvioimisen kannalta.

Lähteet

Bentley, R. W., Global oil & gas depletion: an overview. *Energy Policy* 30 (2002), pp. 189–205.

BP Statistical Review of World Energy. June 2008.

Copeland, T. & Antikarov, V., *Real Options*. Texere. New York 2001.

Cazalet, E., *Generalized equilibrium modeling: The methodology of the SRI-Gulf energy model*. Stanford Research Institute, Menlo Park, California. May 1977.

Hartley, P. & Medlock, K., *The Baker Institute World Gas Trade Model*. Rice University, Houston. March 2005.

Lee, Henry, *Dawning of a New Era. The LNG story*. Harvard University. April 2005.

Solanko, Laura & Ollus, Simon-Erik, *Paljonko kaasua Venäjä pystyy viemään?* BOFIT Online No. 3. Helsinki 2008.

Tchung-Ming, S., *Contract flexibility and spot markets for natural gas*. 5th Natural gas doctoral seminar, Paris, 22 June 2007.

World Energy Outlook (WEO) 2008. International Energy Agency. Paris 2008.

Zwart, G. & Mulder, M., *NATGAS. A model of the European natural gas market*. CPB Memorandum. CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis. February 2006.

SEKKI-hankkeessa (Suomalaisen energiateollisuuden kilpailukyky ilmastopolitiikan muuttuessa) on tutkittu suomalaisen energiateollisuuden kilpailukykyyn vaikuttavia tekijöitä, kun taustalla ovat ilmastonmuutoksen hillintä, niukkenevat energia-resurssit sekä energiateknologioiden kehitys. Hanke toteutettiin VTT:n, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT) ja Suomen Pankin Siirtymätalouksien tutkimuslaitoksen (BOFIT) yhteishankkeena osana Tekesin Climbus-ohjelmää.

SEKKI-hankkeen julkaisuja VTT Tiedotteita – Research Notes -sarjassa:

- 2487 Koljonen, Tiina, Forsström, Juha, Kekkonen, Veikko, Koreneff, Göran, Ruska, Maija, Similä, Lassi, Pahkala, Katri, Solanko, Laura & Korhonen, Iikka. Suomalaisen energiateollisuuden kilpailukyky ilmastopolitiikan muuttuessa. 2009. 90 s.
- 2489 Koljonen, Tiina, Ruska, Maija, Pahkala, Katri, Flyktman, Martti, Forsström, Juha, Kiviluoma, Juha, Kirkinen, Johanna & Lehtilä, Antti. Energiaresurssit ja markkinat. 2009.
- 2470 Koreneff, Göran, Ruska, Maija, Kiviluoma, Juha, Shemeikka, Jari, Lemström, Bettina, Alanen, Raili & Koljonen, Tiina. Future development trends in electricity demand. 2009. 79 s.

SEKKI-hankkeen julkaisuja VTT Working Papers -sarjassa:

- 120 Kekkonen, Veikko & Koreneff, Göran. Euroopan yhdentyvät sähkömarkkinat ja markkinahinnan muodostuminen Suomen näkökulmasta. 2009. 80 s.
- 121 Abdurafikov, Rinat. Russian electricity market. Current state and perspectives. 2009. 77 s. + liitt. 10 s.
- 123 Forsström, Juha. Euroopan kaasunhankinnan malli. 2009. 80 s.