



Kenen kaasua poltat, Eurooppa?

Juha Forsström

Kenen kaasua poltat, Eurooppa?

Juha Forsström

ISBN 978-951-38-7844-3 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)
ISSN 2242-122X (URL: <http://www.vt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2012

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT
PL 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)
02044 VTT
Puh. 020 722 111, faksi 020 722 7001

VTT
PB 1000 (Teknikvägen 4 A, Esbo)
FI-02044 VTT
Tfn +358 20 722 111, telefax +358 20 722 7001

VTT Technical Research Centre of Finland
P.O. Box 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)
FI-02044 VTT, Finland
Tel. +358 20 722 111, fax + 358 20 722 7001

Kenen kaasua poltat, Eurooppa?

Juha Forsström. Espoo 2012. VTT Technology 29. 52 s.

Tiivistelmä

Julkaisussa on laadittu malli maakaasuskenaarioiden luontiin ja analysointiin. Se perustuu yksittäisen kentän tuotannon kuvaukseen. Tuotantokentät kootaan esiintymiksi ja esiintymät muodostavat tuottajavaltion resurssit. Esiintymät otetaan käyttöön kumulatiivisen tuotannon etenemisen mukaan.

Laadittua mallia on käytetty Euroopan maakaasutulevaisuuden arviointiin käyttäen perusurana IEA:n julkaiseman uusimman World Energy Outlook 2012:n mukaista kehityskulkua. Ensin tarkasteltiin perusuraa eri kulmista ja sitten tehtiin muutamia variaatioita ja tarkasteltiin Euroopan kaasunhankinnan tulevaisuutta kussakin tapauksessa. Koska Euroopan oma kaasuntuotanto on laskevalla uralla, niin häiriöttömän kaasunsaannin turvaamisessa Venäjän ja Afrikan toimitukset tulevat olemaan tärkeitä. Sen lisäksi Lähi-idän kaasu täydentää hankintalähdekönäisyyttä oivallisesti. Jos vielä Kaspianmeren alueelta saataisiin siirtokanava suoraan Eurooppaan, niin tällöin hankinta olisi mahdollisimman monipuolinen.

Asiasanat

Natural gas, modelling, natural gas production

Alkusanat

Julkaisussa on esitetty hankkeen ”Suomalainen tulevaisuuden energialiiketoiminta – skenaariot ja strategiat (SALKKU)” projektin maakaasumarkkinoita koskeva osuus. Muiden osatehtävien tuloksia on raportoitu tarkemmin yhteenvetoraportissa, erillisissä julkaisuissa, tieteellisissä artikkeleissa sekä konferenssiartikkeleissa.

Tutkimus tehtiin VTT:n ja Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT) yhteishankkeena, koordinaattorina toimi VTT. Tutkimusta rahoittivat Tekesin lisäksi Gasum Oy, Metso Power Oy, Teknologiateollisuus ry, Helsingin Energia, VTT ja MTT. Yhteishankkeen koordinaattorina ja vastuullisena johtajana toimi tiimipäällikkö Tiina Koljonen ja projektipäällikkönä toimi erikoistutkija Göran Koreneff VTT:ltä. MTT:n osahankkeen vastuullisena johtajana toimi erikoistutkija Katri Pahkala. Projektin johtoryhmän puheenjohtajana toimi Timo Arponen (Helsingin Energia). Johtoryhmään kuuluivat lisäksi Marjatta Aarniala (Tekes), Björn Ahlnäs (Gasum), Matti Rautanen (Metso Power), Timo Airaksinen (Teknologiateollisuus) toukokuuhun 2011 asti ja Martti Kätkä (Teknologiateollisuus) siitä eteenpäin, Hannu Hernesniemi (Etlätieto Oy), Markku Järvenpää (MTT), Satu Helynen (VTT), Tiina Koljonen (VTT), Katri Pahkala (MTT) ja Göran Koreneff (siht., VTT).

Hankkeen tutkijat haluavat kiittää johtoryhmää aktiivisesta osallistumisesta ja ohjauksesta.

Toukokuussa 2012

Juha Forsström

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Alkusanat.....	4
1. Johdanto	7
1.1 Mallin rajaukset	8
2. Tuotteet ja rakenteet	10
2.1 Tuotteet.....	10
2.2 Toimijat	10
2.3 Aluemarkkinat	10
2.4 Sopimukset	10
2.5 Siirtoinfrastruktuuri.....	11
2.6 Alkutilanne	11
3. Kulutusksyntä	12
3.1 Kaasun kokonaisksyntä.....	12
3.2 Kysynnän allokointi tuottajille.....	13
3.3 Uuden kysynnän allokointi	13
4. Markkinavuorovaikutus.....	16
4.1 Tarjonta eri markkinoille	17
4.2 Markkinatasapainon haku	18
4.3 Sopimusten hallinta	18
4.4 Siirtokanavien kehittyminen.....	20
5. Kaasun tuotanto.....	21
5.1 Tasapainotilanteen mukainen tuotanto	21
5.2 Kaasun tuotanto	22
5.3 Kenttien kokojakauma ja käyttöönotto	25
5.4 Esiintymien kokojakauma ja käyttöönotto.....	26
5.5 Tuotannon aloitus.....	28
5.6 Tuotantokustannukset.....	28

6. Globaalin kaasunkäytön perusura.....	32
6.1 Lähtötilanne.....	32
6.2 Perusura	34
6.3 Alueiden välinen kauppa.....	38
6.4 Kaasun viejät ja tuojat.....	40
7. Euroopan kaasunhankinta.....	44
7.1 Hankinnan epävarmuuksia.....	44
7.2 Jos epävarmuudet realisoituvat rajoituksina.....	45
7.2.1 Globaalit resurssiarviot ja Eurooppa	46
7.2.2 Tuontialueiden kehitys ja Eurooppa	46
8. Yhteenveto	51
Lähdeluettelo.....	52

1. Johdanto

Julkaisussa tarkastellaan maailman kaasuvirtoja ja Euroopan asemaa suhteessa niihin. Kaasumarkkinat ovat pääosin alueelliset. Kaasun energiatiheys on alhainen, mikä on syy korkeisiin kuljetuskustannuksiin ja se on ollut aiemmin esteenä kaasumarkkinoiden globalisoitumiselle. Tekniikan viimeaikainen kehitys on kuitenkin edesauttanut kuljetuskustannusten alenemista ja on ilmeistä, että eri markkina-alueet tulevat olemaan entistä voimakkaammassa vuorovaikutuksessa keskenään. Siksi Euroopan kaasutulevaisuuden oleellisten tekijöiden huomioimiseksi koko globaali tilanne on huomioitava. Malli, joka tässä hankkeessa on laadittu, kattaa sen vuoksi koko maailman.

Globaali kaasumarkkina jaetaan kahdeksaan aluemarkkinaan, jotka ovat Eurooppa, Venäjä, Kaspianmeren alue, Lähi-itä, Afrikka, Aasia, Pohjois-Amerikka sekä Keski- ja Etelä-Amerikka. Jokainen kaasua käyttävä valtio kuuluu johonkin markkina-alueeseen, jonka kysyntä on siihen kuuluvien maiden kysyntöjen summa. Jokainen kaasua tuottava valtio muodostaa oman tuotantoyksikkönsä, joka vie kaasua joko yhdelle tai useammalle markkinalle. Ns. kotimarkkinaa ei tuottajilla ole, mutta tuottajan ja kuluttajan maantieteellinen läheisyys tai etäisyys näyttäytyy kaasun kuljetuskustannuksissa. Tuottaja vie kaasua markkinoille, ei yksittäiseen maahan. Nimettyjä tuottajia mallissa on 40.

Euroopan maakaasun hankinta perustuu jatkossa yhä kasvavaan tuontikaasun osuuteen omien kaasuresurssien ehtymisestä johtuen. Tuonti on sekä putkikaasua että nesteytettyä maakaasua LNG:tä (Liquified Natural Gas). Kuluttajan kannalta on samantekevää, miten kaasu paikalliseen jakeluverkkoon kuljetetaan. Sen vuoksi ei mallissakaan määritellä putkikaasua ja LNG:tä erillisiksi tuotteiksi. Kuljetusreitit eroavat toisistaan hyötysuhteen ja kustannusten osalta heijastaen siirtotapaa, mutta lopputuote (hyödyke) on molemmissa sama, kaasu.

Euroopan kaasuntarve kuvataan samoin kuin muidenkin markkina-alueiden tarve: Perusura lasketaan arvioidun BKT:n kasvun mukaisesti ja tätä uraa muokataan kaasun hinnalla soveltaen tuttua kysynnän hintajoustokerrointa. Jokaisella markkinalla kysyntä ohjautuu tuottajille sopimusten mukaan. Jos voimassa olevat sopimukset eivät riitä kysyntää tyydyttämään, solmitaan uusia pitkäaikaisia toimitussopimuksia aluemarkkinan ja toimittajan kesken. Valinta tehdään hintatarjousten perusteella. Valinta tehdään halvimpia toimittajia painottaen, mutta ei kuitenkaan niin, että vain halvimmat valittaisiin. Tässä oletetaan, että päätökseen vaikuttaa muitakin tekijöitä kuin pelkkä hinta.

1. Johdanto

Jos kaasun tuottaja ei esim. kentän kehitysviiveen vuoksi pysty toimittamaan sopimuksessa mainittua kaasumäärää, niin muut ko. markkinalle toimittavat tuottajat täydentävät puuttuvan määrän tuotantokykynsä rajoissa.

1.1 Mallin rajaukset

Mallin markkinat, tuottajat ja kuluttajat on esitetty taulukossa 1.1.

Taulukko 1.1. Mallin markkina-alueet, kuluttaja- ja tuottajavaltiot. Lihavoidut markkina-alueet ovat mallissa käytetyt lyhenteet, jotka näkyvät myöhemmin kuvateksteissä. R_ ja RO_ -alkuiset valtiot tarkoittavat Rest of eli alueen muita valtioita yhdistettynä yhdeksi toimijaksi.

Eurooppa / Europe		Afrikka / Africa	
Kuluttajat	Tuottajat	Kuluttajat	Tuottajat
France	Netherlands	Algeria	Algeria
Germany	Norway	Libya	Libya
Italy	Ukraine	Egypt	Egypt
Netherlands	RO_europe	Nigeria	Nigeria
Spain		RO_afr	RO_africa
Turkey			
Ukraine			
UKingdom			
R_eur			
Pohj.-Amerikka / Nam		Keski- ja Etelä Am. / Scam	
Kuluttajat	Tuottajat	Kuluttajat	Tuottajat
Canada	Canada	Argentina	Tri_Tob
USA	USA	Brazil	Venezuela
Mexico	Mexico	Venezuela	R_scam
		R_scam	
Venäjä / Russia		Kaspianmeren alue / Caspian	
Kuluttajat	Tuottajat	Kuluttajat	Tuottajat
RusW	RusW	Kazakhstan	Kazakhstan
RusE	RusE	Turkmenistan	Turkmenistan
		Uzbekistan	Uzbekistan
		RO_Caspian	RO_Caspian
Lähi-itä / MdEast		Aasia ja Tyynimeri / Asia	
Kuluttajat	Tuottajat	Kuluttajat	Tuottajat
Qatar	Qatar	Australia	Australia
UAE	Oman	China	China
Sarabia	UAE	India	india
Iran	Sarabia	Indonesia	Indonesia
R_mideast	Iran	Japan	Malaysia
	Iraq	Malaysia	Pakistan
	R_mideast	Pakistan	Thailand
		SouthKorea	R_Asia
		Thailand	
		R_Asia	

Taulukko 1.2: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.

Taulukko 1.2. Mallin rajaukset: Mitä tietoja on malliin syötettävä ja mitä malli niistä laskee.

Eksogeeniset suureet	Endogeeniset suureet
Kaasun määrä <ul style="list-style-type: none"> • Todetut varat • Mahdolliset lisävarat • Viivästynyt käyttöönotto 	Resurssitilanne <ul style="list-style-type: none"> • Jäljellä oleva kaasumäärä • Maksimituotanto vuodessa • Uusien kenttien käyttöönotto
Globalisaation kehittyminen <ul style="list-style-type: none"> • Vientikanavien kapasiteetit • Uudet viejämaat 	Kv. kauppaan osallistuminen <ul style="list-style-type: none"> • Vienti eri markkinoille
BKT:n kehitysura	Kaasun kysyntä
Kaasun tuotanto- ja siirtokustannus	Kaasun hinta
Sopimuskauden pituus	Toimitussopimusten teko <ul style="list-style-type: none"> • Osapuolet • Sopimuksen laajuus

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

1. Uusien vientiyhteyksien kapasiteettien kehittyminen.
2. Kaasun globaaliin kauppaan osallistuminen. Erityisesti Iranin ja Saudi-Arabian merkittävien resurssien tulo maailmankaupan piiriin.
3. Uusien kaasuesiintymien käyttöönoton myöhentäminen.
4. Strateginen hinnoittelu.

Kysyntäpuolen kehitys määräytyy kaasun kysynnän ja BKT:n suhteesta sekä kysynnän hintajouaston suuruudesta. Käyttäjä määrittelee nämä tekijät. Myös sopimuskauden pituus vaikuttaa globaaliin kaasun virtauksiin. Jos 20 vuotta pidetään normaalina pitkän sopimuksen kestona, niin sopimuskauden lyhentämisen voi ajatella kuvaavan spot-markkinoiden osuuden kasvua. Mallin aika-askele on yksi vuosi, joten tätä lyhyempiä sopimuksia ei voi huomioida. Pitkällä aikavälillä tuotannon on oltava kannattavaa. Sen vuoksi pitkän aikavälin marginaalikustannus soveltuu sopimushinnan perustaksi. Niukkuus lisää hintaa, luonnollisesti.

2. Tuotteet ja rakenteet

2.1 Tuotteet

Mallissa on vain yksi tuote, kaasu. Sitä tuotetaan kaasukentällä ja kulutetaan käyttökohteessa. Kuluttajan kannalta on samantekevää, miten kaasu tuotantokentältä kulutuspaikalle siirtyy, mutta kaasun hinnalla on merkitystä. Mallissa otetaan samanlainen kanta tähän asiaan. On vain kaasua ja sille kuljetusväyliä.

2.2 Toimijat

Tuottajapuolen toimijat muodostuvat valtioista. Ne tarjoavat kaasua kaikille niille markkinoille, joille niillä on siirtokanava. Kysyntäpuolen toimijat muodostuvat aluemarkkinoista, jotka kokoavat alueelle kuuluvien valtioiden kysynät yhteen.

2.3 Aluemarkkinat

Kaasun globaalit markkinat jakautuvat kahdeksaan aluemarkkinaan. Kaasun kysyntä allokoidaan sopimus- ja hintatietojen perusteella kaasun tuottajille. Kaasun tuottajat tarjoavat tuotettaan kaikille niille markkinoille, joille niillä on vientikanava. Kaikkia tuottajia tarkastellaan samoin periaattein kysyntää allokoidessa, olipa tuottaja yksi alueen kuluttajavaltioista tai maapallon toiselta puolelta. Hinta ja toimituskyky ratkaisevat.

2.4 Sopimukset

Tuottajat solmivat kaasun pitkäaikaisia toimitussopimuksia aluemarkkinoiden kanssa. Niiden kesto määritetään markkinakohtaisesti. Sopimukset stabiloivat markkinaosuusmuutoksia, sillä ne kiinnittävät markkinoiden hankintarakenteen vuosiksi eteenpäin. Sopimukset ovat lähtökohta tasapainotilan määrittämiseksi. Hetkellinen tuotantotilanne lopulta määrittää sen, tuleeko sopimus täysimääräisesti käyttöön.

2.5 Siirtoinfrastrukturi

Kuljetuskanavat ovat oleellisia kaasun maailmankaupan kehittymisen kannalta. Koska siirtoreittien avaaminen on paljon muutakin kuin taloudellista kalkyyliä, mallissa ei ole valmiina rakenteita avata tai laajentaa uusia kanavia. Tämä on käyttäjän vastuulla. Valitsemalla erilaisia siirtoreittejä voidaan laatia hyvin erilaisia tulevaisuuden skenaarioita.

Mallissa ei myöskään eroteta putki- tai laivakuljetuksia. Jokaiseen vientikanavaan liittyy hyötysuhde, joka määrittelee käyttökohteessa käytettävissä olevan kaasumäärän ja kentällä tuotetun kaasumäärän suhteen. Tämä jo kertoo vientikanavan laadun. Myös kustannustiedot heijastavat kuljetusyhteyksien eroavuuksia.

Mallin toimijat eivät siis avaa uusia siirtoreittejä, ne vain käyttävät tarjolla olevaa kapasiteettia tarpeen mukaan. Siirtoreitin kapasiteetti ei välttämättä riitä aiottuun toimitukseen. Käyttäjän vastuulla on tällaisten reittien kapasiteetin kasvattaminen, jos se nähdään realistiseksi mahdollisuudeksi todellisuudessa.

2.6 Alkutilanne

Laskennan lähtötilanne määräytyy tilastojen perusteella. Tuottajan tuotantoalueita otetaan käyttöön niin paljon, että alkutilanteen tuotantotasoa saavutetaan. Alkutilanteeseen liittyvät sopimukset ovat keskimäärin puolet sopimiskauden pituudesta. Tämä määrä kaasuresurseeja varataan näihin alkutilanteen sopimusten täyttämiseen.

3. Kulutuskysyntä

3.1 Kaasun kokonaiskysyntä

Tarkasteluvuoden kysyntä lasketaan peruskysynnän ja hinnan perusteella. Peruskysyntä saadaan kertomalla edellisen jakson toteutunut kaasuntoimitus hintatekijällä (Kallio et al., 2004). Tästä edetään kysyntään siten, että huomioidaan BKT:n kasvu, joka muuttuu kaasun käytön kasvuksi vakioparametrilla kerrottaessa. Esimerkiksi, jos 3 %:n BKT:n kasvu johtaa 1 %:n kaasun käytön kasvuun, tulee kertoimen arvoksi $3\%/1\% = 0,33$. Kehittyneissä maissa tämä kerroin on tyypillisesti pienempi kuin kehittyvissä maissa.

Kaasun kysyntä

$$D_t^m = (1 + b_t^m \sigma^m) \cdot B_t^m \quad (3.1)$$

missä b on BKT:n vuosikasvu, σ on kaasunkäytön ja BKT:n suhde, B on kaasun peruskysyntä ja yläindeksi m viittaa markkinaan.

Peruskysyntä

$$B_t^m = G_{t-1}^m \cdot \phi_t^m \quad (3.2)$$

missä G on tasapainotilanteen kaasun toimitus ja yhtälön viimeinen termi on Kysynnän hintatekijä

$$\frac{D_t}{D_t^0} = \phi_t = 1 - \varepsilon \left[\frac{p_{t-1}}{p_{t-2}} - 1 \right] \quad (3.3)$$

missä ε (< 0) on kysynnän hintajousto, p kaasun markkinahinta ja D^0 kysynnän referenssitaso. Kaasun hinta lasketaan toimitusten keskiarvohintana.

Kaasun markkinahinta

$$p_{t-1}^m = \frac{\sum_j [G_j^m(t-1) \cdot \pi_j^m(t-1)]}{\sum_j [G_j^m(t-1)]} \quad (3.4)$$

missä π_j^m on tuottajan j kaasun hinta markkinalla m (kaava 5.29).

3.2 Kysynnän allokointi tuottajille

Jokaisella markkinalla kokonaisksyntä jaetaan kaasua tarjoaville toimijoille etupäässä olemassa olevien sopimusten mukaan. Jos ksyntä ylittää voimassa olevien sopimusten määrän, niin silloin tarvitaan uusia sopimuksia. Sen kohdentamista tuottajille käsitellään seuraavassa luvussa. Vanhojen ja tavoiteltujen uusien sopimusten perusteella lasketaan markkinaosuuskertoimet ρ , joiden avulla ksyntä kohdennetaan tuottajille:

Tuottajalle j allokoitu ksyntä

$$AD_j^m = \rho_j^m D^m \quad (3.5)$$

ρ_j lasketaan kaavalla (4.8) luvussa 4.3.

3.3 Uuden ksynnän allokointi

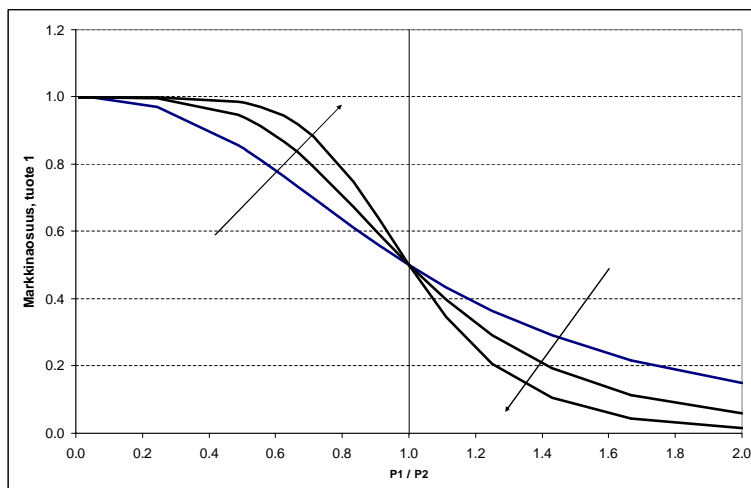
Uusia sopimuksia solmittaessa huomioidaan nykyiset hintasuhteet ja olemassa olevat kauppasuhteet. Hintariippuvan lähestymistavan ydin muodostuu ajatuksesta, jonka mukaan markkinaosuus on kääntäen verrannollinen hintaan (Cazalet 1977).

Tuottajan j markkinaosuus (markkinaindeksi m jätetty kirjoittamatta):

$$\varphi_j = \frac{\pi_j^{-\gamma}}{\sum_j \pi_j^{-\gamma}} \quad (3.6)$$

Kahden tekijän tilannetta havainnollistaa kuva 3.1. Kun γ -parametrin arvo kasvaa, kasvaa lopputuloksen herkkyys hinnan suhteen, ja hyvin suurilla γ arvoilla päädytään kustannusminimointitulokseen. Kun hinnat ovat samat, markkinaosuudetkin yhtyvät.

3. Kulutuskyсыntä



Kuva 3.1. Markkinaosuuskäyrästä. Kun γ -parametrin arvoa kasvatetaan, niin käyrä liikkuu nuolen suuntaan.

Kysynnän staattinen allokointi lähtee siitä oletuksesta, että päätöksentekijät mukautuvat välittömästi suhteellisten hintamuutosten mukaan. Todellisuudessa hintavastetta hidastavat suunnittelun ja toteutuksen viiveet, epävarmuus tulevista hinnoista sekä muutoksia luontaisesti vastustava inhimillinen piirre.

Uusien sopimusten kysynnän ohjautumista eri tuottajille säädellään β -parametrilla. Se määrittää, kuinka paljon voimassa olevat sopimukset vaikuttavat uusien solmimiseen.

Uusien sopimusten allokointi tuottajalle j :

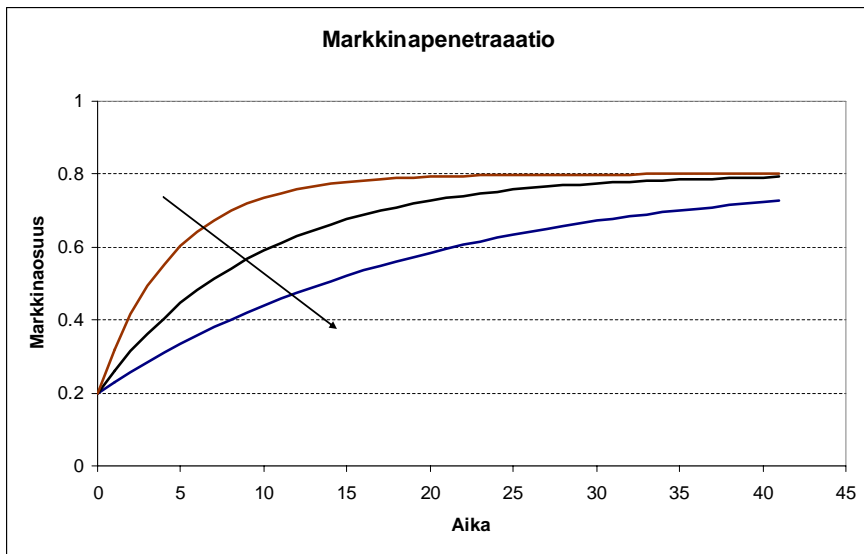
$$\hat{U}_j = \hat{U} \cdot [\beta \varphi_j + (1 - \beta) \theta_j] \quad (3.7)$$

missä \hat{U} on uusien sopimusten kysyntä yhteensä ja θ (kaava 4.5) sisältää olemassa olevien sopimusten mukaisen markkinaosuuden.

Jos $\beta = 0$, uudella tiedolla ei ole vaikutusta, jolloin pysytään olemassa olevassa tilassa. Jos taas $\beta = 1$, historialla ei ole merkitystä, jolloin uudet sopimukset solmitaan pelkän nykyhetken hintatiedon perusteella. Ensin mainitussa tapauksessa uudet hinnat tulkitaan kohinaksi ja pitäydytään edellisen aikajakson markkinaosuuksissa. Toinen tapaus taas edustaa täydellisen informaation tilannetta, jossa uusi markkinaosuus tulkitaan tulevaisuuden tilaksi ilman epävarmuuksia. Uusiin markkinaosuuksiin siirrytään välittömästi, eikä historian anneta vaikuttaa asiaan. Todellisuus lienee näiden ääripäiden välissä, ja sitä kuvataan β -parametrin arvoilla nollan ja ykkösen välissä. Käyttäjä voi tuoda oman näkemyksensä markkinoiden käyttäytymisestä valitsemalla sopivan arvon kertoimelle β .

Sopeutuminen tuottaa markkinapenetraatiokäyrän (kuva 3.2), joka kuvaa, miten markkinat lähestyvät hintapohjaista markkinaosuutta ajan myötä. Hintariippuva

allokointi muodostaa liikkuvan maalin, sillä kohde muuttuu suhteellisten hintojen muuttuessa. Kuva 3.2 havainnollistaa markkinapenetroitumista tai käyttäytymiseen liittyvää viiveellisyttä kaavan 3.7 mukaiselle funktiolle. Lähtötilanteessa markkinaosuus on 0,2 ja uusien hintojen mukaan se on 0,8. Mitä enemmän olemassa olevaa tilannetta painotetaan uuden tiedon kustannuksella, sitä hitaammin siirrytään kohti uutta hetkellisarvoa.



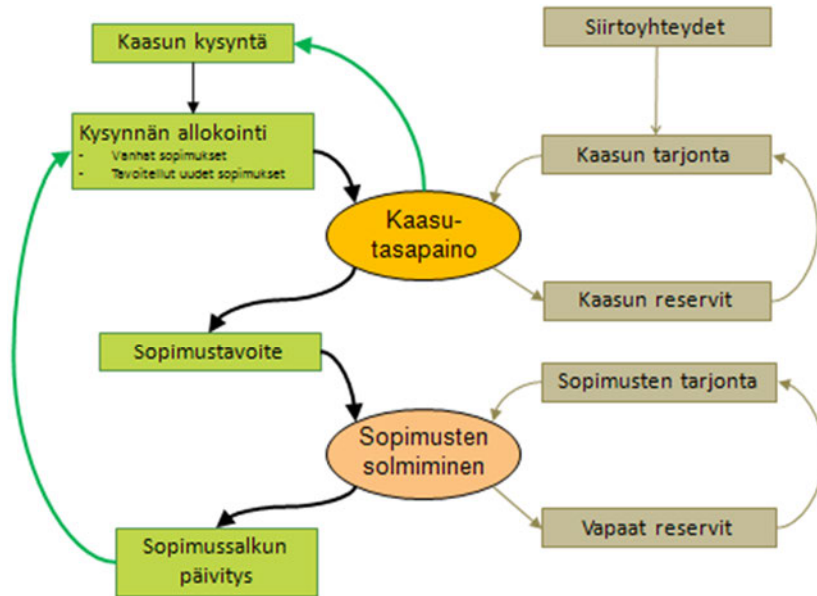
Kuva 3.2. Markkinapenetraatiokäyrästä. Nuoli näyttää muutoksen suunnan, kun β -arvo pienenee eli kun menneisyyden tilanteen painoarvo kasvaa.

4. Markkinavuorovaikutus

Vuorovaikutus kysynnän ja tarjonnan välillä on mallissa kaksitasoinen, joista ensimmäinen käsittää pitkäaikaiset sopimukset ja toinen vuosittaisen tasapainon etsimisen. Sopimus sitoo tuottajan ja kuluttajan (aluemarkkinan) koko sopimuskaudeksi, esim. 20 vuodeksi. Sopimuksen edellytyksenä on, että tuottajalla on vapaita, sitomattomia reservejä varattavaksi. Sitomisen vastapainoksi tuottaja saa vakaan kysynnän. Vuosittain laskettavassa kysynnän ja tarjonnan tasapainossa lähtötilanne muodostuu sopimustoimituksista. Mutta sopimukset joustavat, jos tasapainon saavuttaminen sitä edellyttää. Poikkeamat sopimuksista vastaavat spot-markkinoilla tapahtuvaa vaihdantaa.

Ensin määritetään kunkin aluemarkkinan kysyntä ja se kohdennetaan tuottajille. Kohdentamisessa on kolme vaihetta: i) jaetaan kulutus olemassa olevilla sopimuksilla tyydytettävään kulutukseen ja uusia sopimuksia tarvitsevaan osaan; ii) allokoidaan ensin mainittu kulutuksen osa tuottajille voimassa olevien sopimusten mukaisesti; ja iii) sopimuksilla kattamaton osa kysynnästä kohdennetaan tuottajille pääosin vallitsevien hintojen perusteella. Tuottaja ohjaa tarkasteluhetken toimituskykynsä (maksimituotannon) eri markkinoille sen mukaan, miten paljon kysyntää eri markkinoilta hänelle kohdentuu. Kohdentuminen, allokointi, tehdään sopimusten (vanhojen ja uusien tavoiteltujen sopimusten) perusteella.

Kun kysyntä ja tarjonta on määritetty, niin seuraavaksi haetaan tasapaino kysynnän ja tarjonnan välille. Lähtökohta on tuottajille kohdennettu kysyntä. Se voi ylittää tuottajan toimituskyvyn, jolloin muut toimijat täydentävät mahdollisuuksien mukaan muutoin vajaan jäävää tarjontaa. Tämän tasapainotilanteen pohjalta päivitetään kohdan (iii) uusien sopimusten tavoitetta, jota määriteltäessä ei esimerkiksi siirtojärjestelmää huomioida lainkaan. Näin saadusta uudistetusta sopimuskysynnästä vähennetään olemassa olevat ja erääntyvät sopimukset, jolloin saadaan uusien sopimusten tarve. Tuottajat tekevät kaikki ne sopimukset, joihin niiden resurssit riittävät. Resurssien riittävyys tarkoittaa vielä vapaina olevien, sopimukseen sitomattomien reservien määrää. Kuva 4.1 valaisee asiaa.



Kuva 4.1. Kysynnän ja tarjonnan vuorovaikutus.

4.1 Tarjonta eri markkinoille

Nyt asiaa katsotaan tuottajan j näkökulmasta. Tuottaja tarjoaa kaasua markkinalle m kysynnän mukaan. Tarjonnan yläraja määräytyy kaasun hetkellisen tuotantotilanteen ja siirtokanavan koon mukaan. Jompikumpi em. tekijöistä rajoittaa tarjontaa.

Kaasun tarjonnan maksimi

$$SX_j^m = \frac{GX_j}{\sum_j AD_j^m (1 + h_j^m)} AD_j^m \quad (4.1)$$

missä GX_j on kaasun tuotantomaksimi, AD_j^m allokoitu kysyntä ja h_j^m siirron häviökerroin. Kaikkia markkinoita kohdellaan samanveroisina, sillä tuottaja tarjoaa kaasua eri markkinoille tuottajan kannalta samaan hintaan. Kuluttajan näkökulmasta hinta vaihtelee siirtokustannusten vuoksi.

Tarjonta saadaan tarkastelemalla siirtokanavan kokoa (TX) ja tarjontarajoitetta yhdessä:

Tuottajan j tarjonta markkinalle m

$$S_j^m = \text{MIN} \{ SX_j^m, TX_j^m \} \quad (4.2)$$

4.2 Markkinatasapainon haku

Vasta tasapainotilanteen selvittyä selviää toteutuvat määrät ja osuudet, sillä tuottajalle j allokoitu kysyntä voi ylittää toimituskyvyn. Sen vuoksi markkina-allokaatio varmistetaan kapasiteetit huomioiden. Tehtävä ratkaistaan iteroimalla:

Tuottajan j kaasuntoimitus markkinalla m tasapainotilanteessa (G_j^m):

$$G_j^m(\alpha_n) = S_j^m \cdot \exp\left[\alpha_n^m \frac{S_j^m}{\rho_j^m D^m}\right]$$

$$Z(\alpha_n^m) = D^m - \sum G_j^m(\alpha_n^m) \rightarrow 0 \quad (4.3)$$

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

missä G_j^m on tuottajan j tasapainotilan tuotanto ko. markkinalle, S_j^m on tuottajan j toimituskyky (tarjonta) tarkasteluhetkellä ja D^m on tarkasteluhetken kysyntä. Tekijä α etsitään siis Newtonin menetelmällä (kolmas yhtälö) siten, että kaksi yllintä yhtälöä toteutuu. Jos kysyntä ylittää tarjonnan, niin tällöin kaikki tarjonta hyväksytään ja osa kysynnästä jää vain tyydyttämättä.

4.3 Sopimusten hallinta

Sopimusten hallinta muodostuu sekvenssistä, joka on seuraava: i) Kysynnän määrittämisen jälkeen lasketaan uusien sopimusten tarve; ii) voimassa olevien ja tavoiteltujen sopimusten mukainen kaasumäärä allokoidaan kysyntänä tuottajille; iii) lasketaan tasapainotilanne kaikilla markkinoilla; iv) päivitetään aiempi uusien sopimusten tarve tasapainotilannetta vastaavaksi; v) määritellään tuottajan resurssien nojalla sen mahdollisuus tarjota uusia sopimuksia; vi) tehdään sopimukset.

Markkinaosuuden laskennassa huomioidaan voimassa olevat ja uudet sopimukset. Sopimukset mukautuvat kysynnän vähenemiseen, mutta eivät sen kasvuun. Sitä varten tarvitaan uusia sopimuksia. Aina, kun sopimus loppuu, niin vastaavan suuruinen kysyntä vapautuu uuden sopimuksen solmimiseen, jos sille on tarvetta. Tässä katsotaan asiaa markkinan m kannalta, jolloin summat käyvät yli tuottajajoukon.

Markkinan m (vuoden alussa) voimassa olevat sopimukset tuottajan j kanssa

$$V_j^m(t) = V_j^m(t-1) - U_j^m(t-L^m) \quad (4.4)$$

missä U on uusi sopimus ja L on sopimusjakson pituus.

Kysynnän allokointi tuottajalle j voimassa olevien sopimusten mukaan:

$$\widehat{V}_j^m = V \cdot \frac{V_j^m}{\sum_j V_j^m} = V^m \cdot \frac{V_j^m}{V^m} = V^m \cdot \theta_j^m \quad (4.5)$$

Uusien sopimusten tarve lasketaan vähentämällä kysynnästä ensin voimassa olevat sopimukset. Uusia sopimuksia tarvitaan tarkasteluvuonna seuraavasti:

Uusien sopimusten tarve

$$\widehat{U}_j^m(t) = \text{MAX} \left\{ 0, D^m(t) - \sum_j V_j^m(t) \right\} \quad (4.6)$$

Uusien sopimusten kysyntä tuottajalta j (luvusta 3.3):

$$\widehat{U}_j^m = \widehat{U}^m \cdot [\beta \varphi_j^m + (1 - \beta) \theta_j^m] \quad (4.7)$$

Laskemalla yhteen vanhojen ja uusien, tavoiteltujen sopimusten määrät, päädytään seuraavaan markkinaosuuteen

Tuottajalle j allokoitu markkinaosuus

$$\rho_j^m = \frac{\widehat{U}_j^m + \widehat{V}_j^m}{\sum_j (\widehat{U}_j^m + \widehat{V}_j^m)} \quad (4.8)$$

Tuottajalle j allokoidaan markkinalla m kysyntä $\rho_j^m D^m$ (luku 3.2 kaava 3.5).

Hatulliset termit tarkoittavat ostotarjouksia. Toteutuva määrä selviää kysynnän ja tarjonnan tasapainon määrittämisen jälkeen. Sen selvittyä vähennetään tasapainotoimitusten määrästä ensin voimassa olevat sopimukset, jolloin jäljelle jää tarve uusiin sopimuksiin.

Uusien sopimusten realisoituva kysyntä tuottajalle j

$$\widetilde{U}_j^m(t) = \text{MAX} \left\{ 0, G_j^m(t) - V_j^m(t) \right\} \quad (4.9)$$

Verrattuna kaavaan (4.6) kysyntä on vaihtunut tuottajan j tasapainotilan kaasuntoimitukseksi. Tasapainotilan laskennassa huomioidaan koko toimitusketjun kapasiteetit. Puhtaasti hintapohjaisessa kysynnän kohdentamisessa kapasiteetteja ei tarkastella. Markkinan m tavoittelemien uusien sopimusten määrä on kaikille tuottajille allokoitujen sopimustoiveiden summa, siis $\widetilde{U}^m = \sum_j \widetilde{U}_j^m$.

Seuraavaksi täytyy määrittää, onko tuottajalla riittävästi vapaita kaasuresursseja sopimuksen tekoon. Jokaisella markkinalla on yksilöllinen sopimusjakson pituus L^m , joka huomioidaan.

Tuottajan j vapaat kaasuresurssit

$$R_j(t) = R_j(t-1) - \sum_m \tilde{U}_j^m(t-1) \cdot L^m \quad (4.10)$$

Asiaa katsotaan tuottajan kannalta, joten summa käy yli markkinoiden. Kun ehdot täyttyvät, joko kokonaan tai osittain, niin sopimus syntyy:

Uusi sopimus tuottajan j kanssa

$$U_j^m(t) = \tilde{U}^m(t) \cdot \text{MIN} \left\{ 1, \frac{R_j(t)}{\sum_m \tilde{U}^m(t) \cdot L^m} \right\} \quad (4.11)$$

4.4 Siirtokanavien kehittyminen

Kuljetuskapasiteetti on lähtötieto. Nykytilanne muodostaa lähtötilanteen, ja käyttäjä antaa näkemyksensä siirtoreittien kehittymisestä antamalla kanavien tulevaisuuden kapasiteetit ja vuoden, jolloin kehitys kohti näitä alkaa. Muutos ei ole äkillinen, vaan se on nopeampi alussa ja hidastuu ajan myötä.

Siirtokanavan kapasiteetin kehittyminen

$$TX_t = TX_{t-1} + a \cdot (TX_\infty - TX_{t-1}) \quad (4.12)$$

missä a on vakio ja TX_∞ tulevaisuuden kapasiteetti.

5. Kaasun tuotanto

Kaasun tarjonnan maksimin eri markkinoille määräävät tuotettavissa oleva kaasumäärä ja kuljetuskapasiteetti yhdessä. Sen mukaisesti tuottaja allokoii kaasun eri markkinoille kysynnän mukaan. Tuottajien ei oleteta toimivan strategisesti. Se tarkoittaa, että ne tarjoavat kaasua samoin ehdoin kaikille markkinoille. Strateginen elementti tulee mukaan mallin käyttäjän päätöksin. Päätökset liittyvät sekä uusien kaasuesiintymien käyttöönoton ajoitukseen että kuljetuskanavien kapasiteettiin. Näillä elementeillä voidaan tuottajan resursseja kohdentaa ajallisesti ja maantieteellisesti haluttuun suuntaan.

5.1 Tasapainotilanteen mukainen tuotanto

Tuottajan kaasuntuotannon maksimi G_X on kaikkien tuotannossa olevien kenttien tuotantokyvyn summa

Kaasun maksimituotanto

$$G_X = \sum_b \sum_f G_X_f^b \quad (5.1)$$

missä summataan yli esiintymien b ja kenttien f . Kentän vuosittainen maksimituotanto ja kentän resurssimäärän yhteys kuvataan luvussa 5.2.

Yksittäinen kenttä on joko tasatuotannon tai alenevan tuotannon vaiheessa. Jos tasapainotilanteen mukainen kaasun tuotanto on tuottajan maksimituotantoa alhaisempi, niin tuottajan kaikkien tuotannossa olevien kenttien tuotantokykyä kerrotaan samalla ykköstä pienemmällä kuormakertoimella. Tämä tarvitaan, koska tuotanto allokoitetaan lukuisille kentille samalla tavalla suhteessa maksimituotantoon.

Kuormakerroin

$$\kappa_j = \frac{\sum G_j^m (1 + \mu_j^m)}{G_X_j} \quad (5.2)$$

missä μ^m kuvaa siirtojärjestelmän häviöitä ja G^m markkinalle m toimitettua kaasun tasapainomäärä. Jokaisella tuotannossa olevalla kaasukentällä tuotetaan siten määrä.

Kaasun toteutuva tuotanto

$$q_f^b = \kappa \cdot GX_f^b \quad (5.3)$$

5.2 Kaasun tuotanto

Kaasukenttien käyttöönoton dynamiikka ja siihen liittyvät tuotantokapasiteetin laajennukset noudattavat Steve Mohrin (2010) väitöskirjatyössään laatimaa mallia. Verrattuna esim. Söderbergin (2010) tekemiin laskelmiin on Mohrin työn ansio juuri siinä, että se antaa historiaan perustuvan kuvauksen kenttien ja esiintymien hyödyntämisen etenemisestä. Reservit jaetaan esiintymiin ja edelleen kenttiin, joiden käyttöönotto noudattaa empiiristenhavaintojen perusteella laadittua kaavaa.

Tuottajamaan kaasuvarat kuvataan kolmiportaisesti. Alimmalla tasolla on kaasukenttä (gas field), joka on kokoelma tuotantokaivoja (well). Yksi tai useampi lähekkäin oleva kenttä muodostaa tuotantoalueen tai esiintymän (basin). Tuottajavaltion alueella voi olla useampia esiintymiä. Näiden esiintymien kokojakaumana käytetään Mohrin (2010) esittämää tulosta.

Seuraavassa käydään resurssimalli läpi alhaalta ylös, eli liikkeelle lähdetään yhden kentän kuvauksesta, edetään siitä esiintymään ja lopuksi esiintymien kokonaisuuteen, tuottajavaltioon. Rakennelman tarkoituksena on laskea tuottajan kaasuntuotannon maksimi jokaisena ajanhetkenä. Markkinatilanne sitten määrää, kuinka suuri osa ko. maksimista tulee kunakin hetkenä käyttöön.

Tuotanto-olosuhteiden lisäksi kaasun toimitusta markkinoille voi rajoittaa siirtojärjestelmän kapasiteetti. Tällä tarkoitetaan tässä sekä putkisiirtoon että nesteytettyyn maakaasun perustuvaa järjestelmää. Näiden järjestelmien rakentaminen perustuu toimijoiden strategisiin päätöksiin. Mallissa nämä päätökset ovat mallin käyttäjän vastuulla. Ne ovat skenaariomuuttujien kaltaisia tekijöitä, jotka perustavalla tavalla määrittävät kohdejärjestelmän kehittymistä. Puhdas taloudellinen kalkyyli ei sen vuoksi anna riittävää perustetta niiden tekemiseen, vaikka taloudellisilla tekijöillä on hyvin tärkeä rooli päätöksiä tehtäessä.

Kaasukentällä on tuotannon kannalta kolme keskeistä vaihetta: tuotannon aloitusvaihe, tasatuotannon vaihe ja alenevan tuotannon vaihe. Aloitusvaiheessa kentän tuotantokyky kasvaa nolasta tasatuotannon kapasiteettiin. Tasatuotantovaiheessa tuotantomaksimi on nimensä mukaisesti vakio. Kun kentästä on tuotettu tietty määrä kaasua, tyypillisesti 30–70 % alkuperäisestä määrästä, kenttä siirtyy alenevan tuotannon vaiheeseen. Tällöin tuotantomaksimi on kiinteä osuus jäljellä olevan kaasun määrästä (kun sovelletaan eksponentiaalista kenttämallia).

Kaasukentän maksimituotanto perustuu Giant Gas Field (GGF) -malliin (Söderbergh (2009) sillä poikkeuksella, että tässä tuotannon aloitusvaihe ei vie lainkaan aikaa, eli kenttä kykenee tuottamaan täydellä teholla heti alusta lähtien. Mallin aika-askel on yksi vuosi. Tuotanto vuonna t kirjoitetaan q_t ja Q_t on vuoden lopussa tuotettu kumulatiivinen määrä. R_0 on arvioitu kentän hyödynnettävissä oleva resurssimäärä, URR (Ultimately Recoverable Resource). Vuoden t alussa tuotettavissa oleva resurssimäärä R_t määritellään seuraavasti.

Kentän hyödynnettävissä oleva kaasumäärä:

$$R_t = R_0 - Q_{t-1} \quad (5.4)$$

Tasatuotantovaiheessa kentän maksimituotanto määritellään suhteessa arvioituun kentän kokonaisresurssimäärään.

Tasatuotantovaiheen maksimituotanto:

$$q_t = f_R \cdot R_0 \quad (5.5)$$

missä kerroin f_R muuttuu kentän koon mukaan. Suurilla kentillä tasatuotanto on suhteessa alempi kuin pienillä kentillä. Toteutuva tuotanto saadaan maksimituotannosta kertomalla sitä tekijällä κ : $G = \kappa \cdot q_t$. Kysyntätilanne sitten määrittää, tuotetaanko maksimivauhdilla ($\kappa = 1$), vai pienemmällä tuotantonopeudella ($\kappa < 1$).

Tuotantomaksimin vakioisuus jatkuu, kunnes kumulatiivinen tuotanto saavuttaa kentän ominaisuuksien mukaan vaihtelevan osuuden β kentän kokonaisresurssista. Tämän jälkeen kenttä siirtyy alenevan tuotannon vaiheeseen.

Tasatuotantovaihe jatkuu niin kauan, kun pätee:

$$Q = \tilde{Q} \leq \beta \cdot R_0 \quad (5.6)$$

Alenevan tuotannon vaiheessa jäljellä olevan resurssimäärän ehtymisnopeus d on vuosituotannon suhde jäljellä olevaan resurssimäärään.

Jäljellä olevan resurssimäärän ehtymisnopeus:

$$d_t = \frac{q_t}{R_t} \quad (5.7)$$

Resurssien niukkuudesta johtuva maksimituotannon alenema λ kuvaa maksimituotannon vuosittaista kehitystä.

Tuotannon alenemakerroin

$$\lambda_t = \frac{q_{t-1} - q_t}{q_{t-1}} = 1 - \frac{q_t}{q_{t-1}} (>0). \quad (5.8)$$

GGF-malli soveltaa eksponentiaalista tuotannon laskuvauhdin kaavaa laskuvaiheessa olevan kentän tuotantoa laskettaessa. Kumulatiivisen tuotannon määrä tuotannon laskuvaiheessa lasketaan geometrisena sarjana (tasatuotannon loppumisajankohta merkitään $t = s$).

Laskuvaiheen kumulatiivinen tuotanto:

$$Q_\infty = \sum_{t=s}^{\infty} q_s (1 - \lambda)^{t-s} = \frac{q_s}{\lambda} \quad (5.9)$$

Tuotannon laskuvaiheen aikana jokaisena ajankohtana jäljellä oleva resurssi R_t lasketaan seuraavasti.

5. Kaasun tuotanto

Jäljellä olevat resurssit:

$$R_t = Q_\infty - Q_{t-1} = \frac{q_t}{\lambda} \quad (5.10)$$

Jäljellä olevien resurssien ehtymisnopeus d_t (kaava (5.7) yllä) on eksponentiaalisen aleneman tapauksessa vakio ja sama kuin tuotannon laskuvauhti λ .

Resurssien ehtyminen ja tuotannon alenemakerroin:

$$d_t = \frac{q_t}{R_t} = \frac{q_t}{q_t / \lambda} = \lambda \quad (5.11)$$

Yhdistämällä kaavojen (5.5), (5.6) ja (5.9) tulokset saadaan λ :lle lauseke

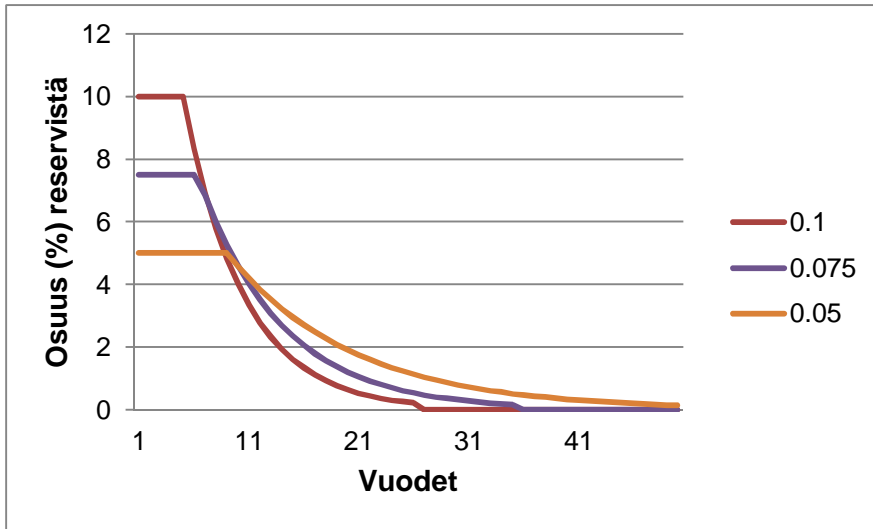
$$\frac{q_s}{\lambda} = \frac{f_R R_0}{\lambda} = (1 - \beta) R_0 \Leftrightarrow \lambda = \frac{f_R}{1 - \beta} \quad (5.12)$$

jolloin laskuvaiheen maksimituotannon ja jäljellä olevan kaasumäärän yhteydelle pätee seuraava.

Kentän laskuvaiheen maksimituotanto:

$$q_t = \lambda \cdot R_t = \frac{f_R}{1 - \beta} R_t \quad (5.13)$$

Mohrin (2010) mukaan kaasukenttien $\beta = 0,4$. Se tarkoittaa, että kentän sisältämästä kaasusta on jäljellä 60 % laskevan tuotannon alkaessa. Söderbergh (2010) raportoi noin 55 %:n tasosta. Pienehkölle kentälle sopiva f_R :n arvo on 0,12, jolloin $\lambda = 20$ %. Suurille kentille vastaava arvo on $f_R = 0,05$ ja hyvin suurille kentille se voi olla vieläkin pienempi (Söderbergh 2009). Kuvassa 5.1 on esitetty kentän maksimituotannon kehittyminen yli ajan eri maksimituotantokertoimen arvoilla.



Kuva 5.1. Kentän tuotantovaiheet. Alimman käyrän tasatuotantovaiheessa tuotetaan 5 % kentän alkuperäisestä kaasisäällöstä, keskimmaisella käyrällä 7,5 % ja korkeimmalla käyrällä 10 %. Kaikissa tapauksissa kenttä siirtyy alenevaan tuotantovaiheeseen, kun 40 % kentän reserveistä on tuotettu.

5.3 Kenttien kokojakauma ja käyttöönotto

Esiintymä on kokoelma kenttiä. Esiintymämalli määrittää kentistä kaksi seikkaa: kenttien kokojakauman ja käyttöönoton ajoituksen. Seuraavissa kaavoissa on aikaindeksi t jätetty pois yksinkertaisuuden vuoksi. Muutoksia tuotantotilanteeseen tuo kumulatiivinen tuotanto, ei aika sinänsä.

Esiintymän tuotanto on summa yli kaikkien tuotannossa olevien kenttien $f = \{1, \dots, N\}$.

Esiintymän e maksimituotanto:

$$P^e = \sum_{f=1}^N q^f, \quad e = \{1, \dots, E\} \quad (5.14)$$

missä E on esiintymien lukumäärä.

Tuotannossa olevien kenttien lukumäärä ja kumulatiivinen tuotanto ovat Mohrin (2010) mukaan lineaarisesti riippuvia.

Tuotantokenttien ja kumulatiivisen tuotannon yhteys:

$$N = \left[f_n \cdot N_T \cdot \frac{Q}{RR_0} \right] \quad (5.15)$$

missä osittaiset sulkumerkit tarkoittavat kokonaislukua, f_n vakio, N_T on kenttien kokonaislukumäärä esiintymässä, RR_0 on esiintymän arvioitu kokonaisresurssimäärä ja Q esiintymän kumulatiivinen tuotanto.

Esiintymän kenttien kokojakauma määräytyy niiden lukumäärän mukaan seuraavasti (Mohr, 2010).

Kenttien kumulatiivinen kokojakauma esiintymässä:

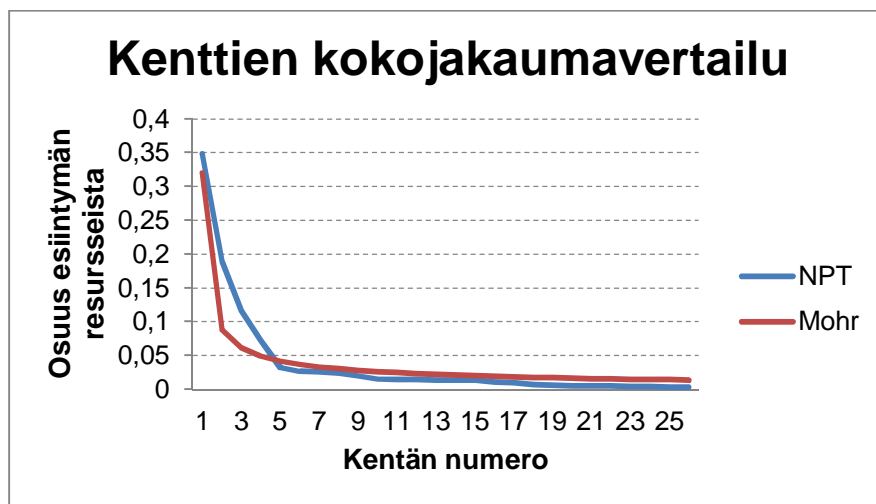
$$\rho(n) = \frac{R_0^n}{RR_0} = \left(\frac{n}{N}\right)^{rQ}, \quad n = \{1 \dots N\} \quad (5.16)$$

missä rQ on vakio. Kentän n resurssimäärä on kahden peräkkäisen alkion erotus.

Kentän n koko:

$$R_0^n = RR_0 \cdot (\rho(n) - \rho(n-1)) \quad (5.17)$$

Verrataan yllä kuvattua kenttien kokojakaumaa Venäjän Nadym-Pur-Taz-alueen kenttiin (Söderbergh 2010). Vertailu tuottaa kuvan 5.2 mukaisen tuloksen.



Kuva 5.2. Mallin ja empiirisen datan vertailu. Mohr tarkoittaa Mohrin malliin mukaista jakaumaa ja NPT viittaa Nadym-Pur-Taz-alueen todelliseen (Söderbergh 2010) dataan.

Kuvan perusteella voidaan todeta mallin tavoittavan hyvin kokojakauman muodon.

5.4 Esiintymien kokojakauma ja käyttöönotto

Ylin taso kaasuresurssimallissa on tuottajavaltion malli. Tämä osa on analoginen edellisen kanssa, mikä tarkoittaa, että tässä määritetään esiintymien kokojakauma

ja niiden käyttöönoton eteneminen. Muutosta ajaa eteenpäin tuottajavaltion kumulatiivisen tuotannon määrä.

Tuottajan hetkellinen maksimituotanto:

$$P = \sum_{e=1}^{E_t} P^e \quad (5.18)$$

missä E_t on hetkellä t tuotannossa olevat esiintymät. Tuotannossa olevien esiintymien lukumäärä kasvaa kumulatiivisen tuotannon mukana.

Tuotannossa olevien esiintymien lukumäärä

$$e = \left\lceil E \cdot \sqrt{\frac{Q}{URR}} \right\rceil \quad (5.19)$$

missä Q on maan kumulatiivisen tuotanto (Mohr, 2010) ja URR sen kaasuvarojen kokonaismäärä ja osittaiset sulkuimerkit tarkoittavat kokonaislukuja. Mallissa Q on joko kumulatiiviset sidotut resurssit tai kumulatiivinen tuotanto sen mukaan, kumpi on suurempi.

Esiintymien on havaittu noudattavan tyypillisesti tietynlaista kokojakaumaa, jota voidaan käyttää, jos tarkempaa tietoa maan esiintymistä ei ole. Jakauma kuvataan kumulatiivisena kokojakaumana seuraavasti (Mohr 2010).

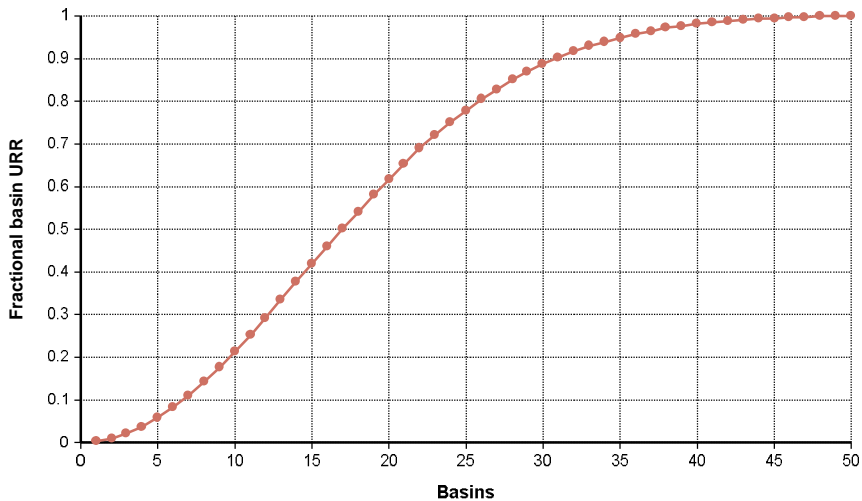
Esiintymien kumulatiivinen kokojakauma:

$$\varphi(e) = \frac{Y_0^e}{URR} = \frac{1 - e^{(-re(i/N)^2)}}{1 - e^{-re}} \quad (5.20)$$

missä re on vakio. Kuva 5.3 esittää jakauman muodon. Esiintymän e koko saadaan kumulatiivisen jakauman kahden peräkkäisen kumulatiivisen termin erotuksena.

Esiintymän e resurssimäärä:

$$RR_0^e = URR \cdot (\varphi(e) - \varphi(e - 1)) \quad (5.21)$$



Kuva 5.3. Esiintymien koon kumulatiivinen jakauma (kaava 5.20), kun esiintymiä on 50 kappaletta.

Jos on tietoa esiintymien todellisesta koosta, niin standardi jakauma on syytä korvata todellisella tiedolla. Keskimääräistä jakaumaa voi käyttää, kun tietoa ei ole saatavilla.

Mallissa kumulatiivinen tuotanto tarkoittaa joko kumulatiivista sopimus- tai tuotantomäärää. Mallissa asetetaan uuden kentän käyttöönotolle lisäehto kuormituskerroimen avulla. Kuormituskerroin on maksimituotannon ja toteutuvan tuotannon suhde. Sen tulee olla suurempi kuin 0,7, jotta uusi kenttä otetaan tuotantoon.

5.5 Tuotannon aloitus

Tarkastelun alussa tuotanto on tilastojen mukainen. Tuottajan tuotantoalueista valitaan tuotantoon niin monta, että alkutilanteen tuotanto saadaan hoidettua, ts. kenttien tuotantomaksimien summa ylittää tuotantarpeen. Alkutilanteeseen liittyviä sopimuksia käsitellään normaaliin tapaan, eli ne poistuvat sopimusjakson pituuden aikana tasaisesti.

5.6 Tuotantokustannukset

Kaasun tuotantokustannukset lasketaan summana tuotannon ja kuljetusten kustannuksista. Tuotantokustannukset liittyvät esiintymään ja kenttään siten, että uusi kenttä tai esiintymä on tuotantokustannuksiltaan kalliimpi kuin edelliset.

Kaasun tuotanto ja käsittely kaasukentällä siten, että se on valmis siirrettäväksi käyttökohteeseen, muodostaa kaasun tuotantokustannuksen. Siirtoon kuuluvat

vaiheet ovat putkisiirto, nesteytys, laivakuljetus, uudelleenkaasutus, putkisiirto ja jakelu. Tilanteen mukaan näitä vaiheita tarvitaan yksi tai useampi, jotta kaasu saadaan kuljetettua perille. Siirtokustannukset lasketaan tarvittavien vaiheiden perusteella. Tuottaja toimittaa kaasun markkinoille edullisinta reittiä. Itse asiassa valintaa ei juuri tarvitse tehdä, sillä se on joko putki- tai laivakuljetus muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta: Pohjois-Afrikasta ja Norjasta Euroopan mantereelle on molemmat kuljetustavat käytössä.

Kun uusi kenttä otetaan esiintymässä käyttöön, niin sen tuotantokustannus on aiempia kenttiä suurempi. Tämä sama pätee myös tuottajavaltion esiintymien välillä. Valtion sisällä siis edetään halvimmasta kalliimpaan, mutta markkinoilla käydään kauppaa monin eri hinnoin.

Kaasun tuotantokustannus:

$$MAX \{B_b F_f h_f\}, \forall b, \forall f \quad (5.22)$$

Maksimioperaattorilla valitaan kallein tuotannossa oleva tasatuotantovaiheen kenttä edustamaan tuottajamaan kaasuntuotantokustannusta. b on indeksi esiintymille ja f kentille. Indeksillä B_b saa arvon yksi, jos esiintymä b on tuotannossa, muutoin se on nolla. Vastaavat määrittelyt pätevät kenttäindekseille F ja f .

Koska kentät otetaan käyttöön edullisuusjärjestyksessä, niin ajan kuluessa kaasu väistämättä kallistuu. Jos uusia tuotanto- tai tuontikanavia aukeaa, niin tällöin hinta voi kyllä jollain markkinalla laskeakin. Alkuarvona annetaan hinta kunkin esiintymän ensimmäiselle kentälle. Esiintymän kenttien hinta lasketaan siten, että peräkkäisten esiintymien hintaero jaetaan kenttien lukumäärällä. Hinta nousee tällöin tasaportain kentältä seuraavalle.

Kaasun tuotantokustannus kentällä f :

$$C_f = C_b + (f - 1) \cdot \Delta C, \quad (5.23)$$

missä C_b on esiintymän ensimmäisen kentän tuotantokustannus, f on kenttäindeksi ja ΔC on peräkkäisten esiintymien ensimmäisten kenttien tuotantokustannusero.

Tuottajan kaasun tuotantokustannukseksi asetetaan kalleimman tuotannossa olevan kentän tuotantokustannus.

Tuottajan tuotantokustannus:

$$C = MAX \{C_f\}, \quad (5.24)$$

missä f viittaa kaikkiin tuotannossa oleviin kenttiin.

Kuljetuskustannukset muodostavat merkittävän osan kaasun hinnasta, mikä johtuu kaasun alhaisesta energiatihydestä. Kuljetusten kustannusmuutokset heijastavat kaasun markkinahinnan muutoksia.

Kuljetuksen yksikkökustannus:

$$C_{TR}(t) = C_{TR}(t-1) \cdot ((1+r) + \varepsilon \cdot (\Delta H(t-1) - 1)) \quad (5.25)$$

missä ε on kuljetuksen jousto kaasun hintamuutoksen suhteen, r on kuljetuskustannuksen suhteellinen muutos ja ΔH on kaasun markkinahinnan muutos. Kuljetuskustannukset kasvavat trendin mukaan (esimerkiksi 1 % vuodessa) tai muutos voi olla tulos kuljetusmarkkinoita tarkemmin kuvaavasta mallista.

Kaasun kokonaishinta muodostuu kaasun tuotannosta ja kuljetuksista. Koska vain hintamuutokset ovat kiinnostavia, alkutilanteen arvoksi skaalataan ykkösen. Näin hinnan muutos alkutilanteeseen nähden paljastuu hintaindeksin arvosta suoraan.

Tuottajan j kaasun yksikkökustannus markkinalle m toimitettuna:

$$H_j^m = (1 - \alpha) \cdot C_j + \alpha \cdot C_{TR,j}^m, \quad (5.26)$$

missä α on kuljetusten kustannusosuus. Se muuttuu jatkuvasti kuljetuskustannusten ja kaasukustannusten muutosten mukana.

Välittömien kustannustekijöiden lisäksi kaasun hintaan vaikuttaa kysynnän ja tarjonnan välinen suhde: mitä niukempi resurssi kaasu on, sitä korkeammalle sen hinta nousee. Tasapainotilanteessa kaikki toimittajat eivät välttämättä pysty kaikkea niille allokoitua kysyntää toimittamaan. Tällöin tilauksesta jää siis jotain uupumaan ja samalla jonkin toisen toimittaman kaasun määrä voi olla tilausta suurempi. Samaan tulokseen olisi päästy suoraan, ilman tasapainon laskentaakin, jos tuottajien tuotteiden hinnat olisivat olleet kohdallaan, ts. vastanneet markkinatilannetta. Jälkeenpäin voidaan laskea, mikä hinnan olisi pitänyt olla. Lasketaan siis seuraavassa tekijä, jolla kustannushintaa kerrotaan, kun tavoitteena on tasapainotilannetta vastaava markkinahinta. Kaava seuraa hintajouston määritelmästä.

Tasapainotilanteen indikoima hintakerroin tuottajalle j

$$\frac{H_j^{*m}(t)}{H_j^m(t)} = \delta_j^m(t) = 1 + \text{MAX} \left\{ 0, \frac{1}{\varepsilon} \left[\frac{AD_j^m(t-1)}{G_j^m(t-1)} - 1 \right] \right\} \quad (5.27)$$

missä H on hinta, jolla kysyntä muodostettiin, ja H^* on hinta, joka vastaa tasapainotilannetta. Tuottajan j kustannusta kerrotaan tällä tekijällä, jolloin se edustaa todellista, niukkuuden huomioivaa hintaa markkinalla m . Hintakerroin säilyy ykkösenä, kun tarjonta vastaa kysyntää. Jos tasapainotoimitus jää kysyntää vähäisemmäksi, eli kaasusta on niukkuutta, niin hintataso nousee ja kääntäen. Käänteinen tilanne johtaisi hinnan alenemiseen. Koska tuottajat hinnoittelevat tuotteensa pitkän aikavälin kustannusten mukaan, niin kaavan 5.27 max-operaattori huolehtii siitä, ettei kukaan myy alle tuotantokustannusten.

Koska muutokset kertoimessa vuodesta toiseen voivat olla rajuja, laskennassa käytetään tasoitettua arvoa.

Tasoitettu hintakerroin

$$\bar{\delta}_j^m(t) = \delta_j^m(t-1) + \alpha(\delta_j^m(t) - \delta_j^m(t-1)) \quad (5.28)$$

missä α on vaimennuskerroin.

Tuottajan j kaasun hinta markkinalla m

$$\pi_j^m(t) = \bar{\delta}_j^m(t) \cdot H_j^m(t) \quad (5.29)$$

Tätä arvoa käytetään kaavassa (3.4) tuottajan j kaasun hintana.

6. Globaalin kaasunkäytön perusura

6.1 Lähtötilanne

Seuraavassa tarkastelussa kaasun kulutuksen perusuran viitoittajana käytetään IEA:n World Energy Outlook (WEO) 2010:n uusi politiikka -skenaariota. Se tarkoittaa, että malli tuottaa suunnilleen samanlaisen kaasun kokonaiskulutuksen. Tähän perusuraan tehdään sitten variaatioita lisäolettamuksin. Tarkoituksena on hahmotella Euroopan kaasunhankinnan tulevaisuutta eri olosuhteissa. Koska kaasun kauppa on globaalia, joskin kauppavirrat historiallisesti ovat olleet pääasiassa alueellisia, vaikuttavat muutokset jollain alueella kaikkiin maakaasun aluemarkkinoihin. Tulevaisuudessa vuorovaikutusten voi olettaa voimistuvan resurssien ehtymisen myötä. Sen vuoksi Euroopan maakaasutulevaisuuden analysointi pitkällä aikavälillä edellyttää koko globaalin järjestelmän kuvausta.

Keskeiset kysymykset liittyvät resurssien riittävyyteen, siirtoväylien kapasiteetteihin, kaasun kustannuksiin ja muihin strategisiin päätöksiin. Viimemainituilla tarkoitetaan tässä mm. seuraavia seikkoja: miten nopeasti kaasunvaroja hyödynnetään, kuinka suuri markkinaosuus jollekin kaasun tuottajalle sallitaan, suuntaako tuottaja tuotteensa jollekin tietylle markkinalle, hinnoitteleeko tuottaja tuotteensa eri markkinoille eri tavalla jne. Toimintamahdollisuudet ovat loputtoman monipuoliset ja on selvää, että yhdessä analyysissä keskitytään vain niihin, jotka vaikuttavat mielenkiintoisilta, mahdollisilta ja/tai uhkaavimmilta.

Perusdata WEO 2010:sta käsittää resurssiarviot, BKT:n kasvuvauhdin ja kaasun käytön kasvun suhteessa BKT:n kasvuun. Näillä tiedoilla luodaan perusura. Kun em. lähteen data muokataan mallin edellyttämään muotoon, se näyttää seuraavien taulukoiden mukaiselta.

Taulukko 6.1. Maakaasun resurssiarviot alueittain, 1000 bcm.

Alue	Reservit 2008 lopussa	Oletetut lisävarat
Keski- ja Etelä-Amerikka	8	15
Afrikka	16	14
Eurooppa	6	15
Aasia / Tyynimeri	16	16
Pohjois-Amerikka	20	26
Lähi-itä	75	37
Itä-Eur./Euraasia	55	77
Yhteensä	196	200

Oletetut lisävarat, pääosin epäkonventionaalista kaasua, ovat yo. taulukon mukaan yhtä suuret kuin nykyiset tunnetut varat. Suhteessa nykyisiin varoihin Euroopalla on taulukon mukaan lähes kolminkertaiset kaasuvarat. Luku vaikuttaa suurelta. Se sisältää mm. liuskekaasun, jonka hyödyntämismahdollisuudet Euroopassa ovat sangen epävarmat. Sen vuoksi Euroopan oletetuista varoista huomioidaan vain 20 %, mutta muiden alueiden oletetut lisävarat otetaan sellaisenaan taulukosta 6.1. Syy tähän on se, että huomioin keskiössä ovat tässä Euroopan tuontimahdollisuudet, sillä ne määrittävät valtaosan kaasun käyttömahdollisuuksista Euroopassa.

Talouden kasvuvauhdit samoin kuin kaasun kasvu suhteessa siihen vaihtelevat melkoisesti alueelta toiselle siirryttäessä, taulukko 6.2.

Taulukko 6.2. BKT:n kasvuvauhti ja maakaasun käytön kasvu suhteessa siihen vuosina 2008–2035.

Alue	BKT:n kasvu [%]	Kaasun kasvu [%]
Keski- ja Etelä-Amerikka	3	0,7
Afrikka	3,5	0,5
Eurooppa	1,6	0,3
Aasia / Tyynimeri	5	0,7
Pohjois-Amerikka	2,2	0,2
Lähi-itä	3,9	0,6
Kaspianmeren alue	3,8	0,4
Venäjä	3	0,1

6.2 Perusura

Edellisen luvun tiedoilla WEO 2010 päätty taulukon 6.3 mukaisiin kaasun kulutuksiin vuonna 2035. Laaditussa mallissa alueiden määrittely poikkeaa jonkin verran WEO:n julkaisun saman nimisistä alueista, joten mallin antamat kaasunkäyttölututkaan eivät ole aivan samat. Myös lähtövuosi poikkeaa (2008 vs. 2010), koska tässä on käytetty uusimpia BP:n (2012) julkaisemia arvoja.

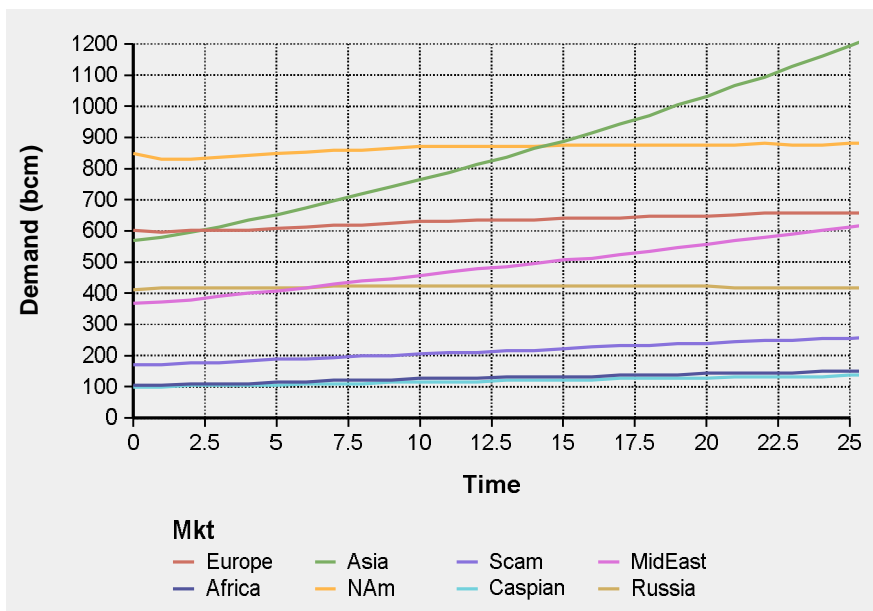
Taulukko 6.3. Maakaasun käyttö vuonna 2035 WEO:n uusi politiikka -skenaariossa. Eurooppaan on siirretty itäisestä Euroopasta muutamia maita. Luvut ilmoitetaan yksikkönä bcm, joka tarkoittaa miljardia kuutiometriä vuodessa.

Alue	WEO 2010	Laskettu
Keski- ja Etelä-Amerikka	232	264
Afrikka	164	149
Eurooppa.	628+150	658
Aasia / Tyynimeri	1150	1230
Pohjois-Amerikka	913	879
Lähi-itä	608	612
Kaspianmeren alue	185	136
Venäjä	503	418
Yhteensä	4583	4304

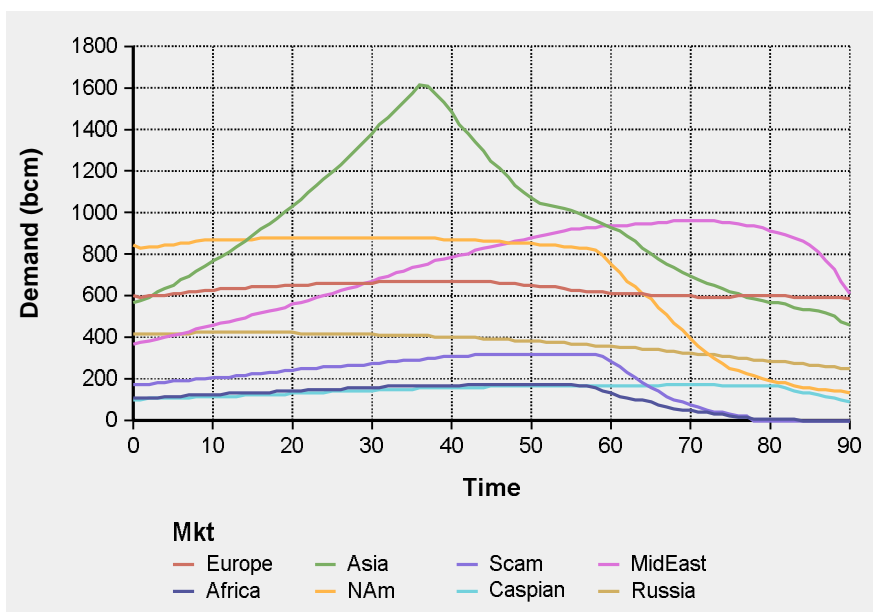
Kaasun käyttö vastaa hyvin WEO-julkaisun arvoja. Kun laskentaa jatketaan vuoden 2035 jälkeen aina vuoteen 2100 saakka, niin kuva maakaasun käytöstä muuttuu: resurssien rajallisuus tulee esiin, kuvat 6.1 ja 6.2. Vuoden 2040 jälkeen kasvun oletettiin taittuvan jokaisella markkinalla lineaariseen laskuun siten, että 2070:n jälkeen kasvu on nolla. Tämä aiheuttaa lähes tasaisena jatkuvan muutaman vuosikymmenen kulutuksen, joka kääntyy kaasun ehtyessä väistämättömään laskuun noin neljän vuosikymmen kuluttua.

Kuvat 6.1 ja 6.2 luovat aivan erilaisen näkymän tulevaisuuteen. Resurssitarkasteluissa lyhyt horisontti voi olla petollinen, koska resurssien rajallisuus ei välttämättä näyttäydy lainkaan. Kuvista erottuu selvästi Aasian kaasunkulutuksen voimakas kasvu. Toinen voimakkaasti kasvava markkina on Lähi-itä. Aasian kasvu lisää globaalia kauppaa ja Lähi-idän kulutuskasvu hidastaa sitä.

Kun kuvan 6.2 aluemarkkinaluvut summataan yhteen, päädytään globaaliin tilanteeseen. Kun sitä tarkastellaan tuottajakohtaisesti päästään kuvan 6.3 tilanteeseen.

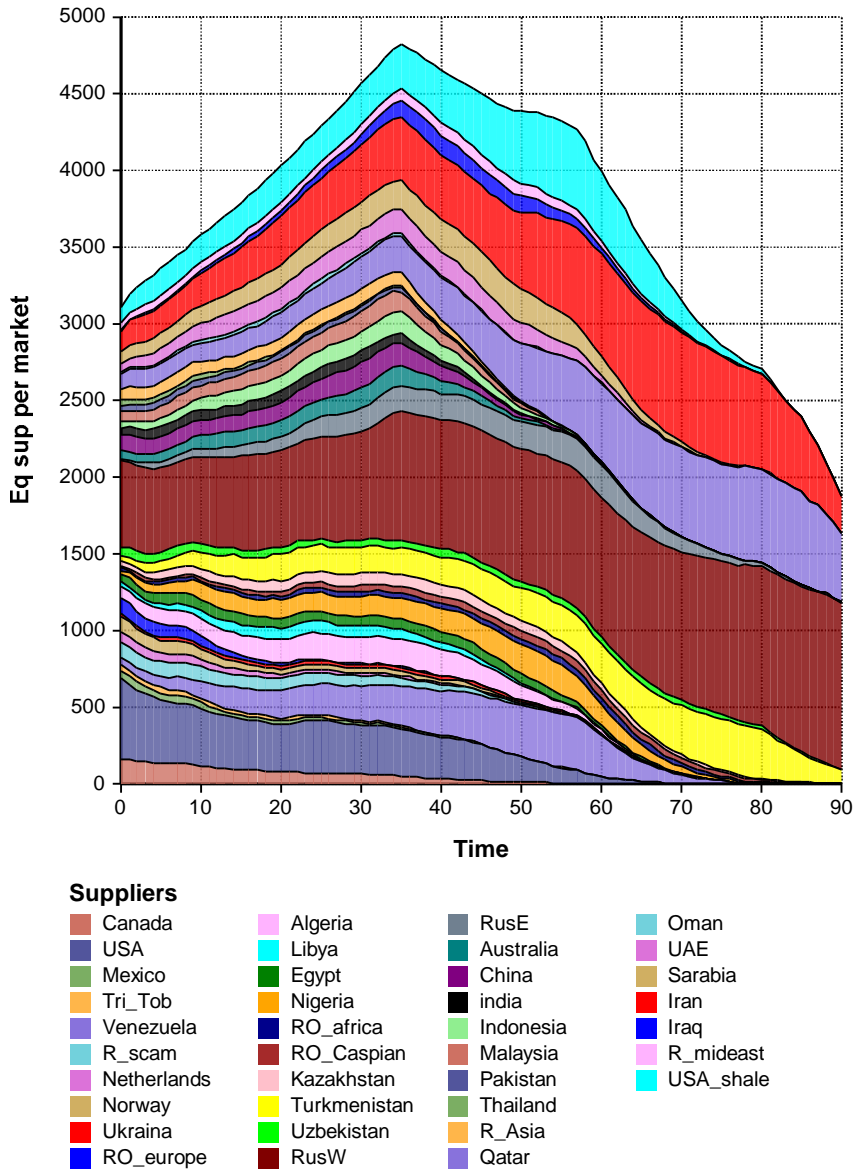


Kuva 6.1. Kaasun kysynnän kehitys 25 vuotta eteenpäin vuodesta 2010. Markkinoiden lyhenteet lienevät selvät muilta osin paitsi seuraavien kohdalta: NAM tarkoittaa Pohjois-Amerikkaa ja Scam Etelä- ja Keski-Amerikkaa.



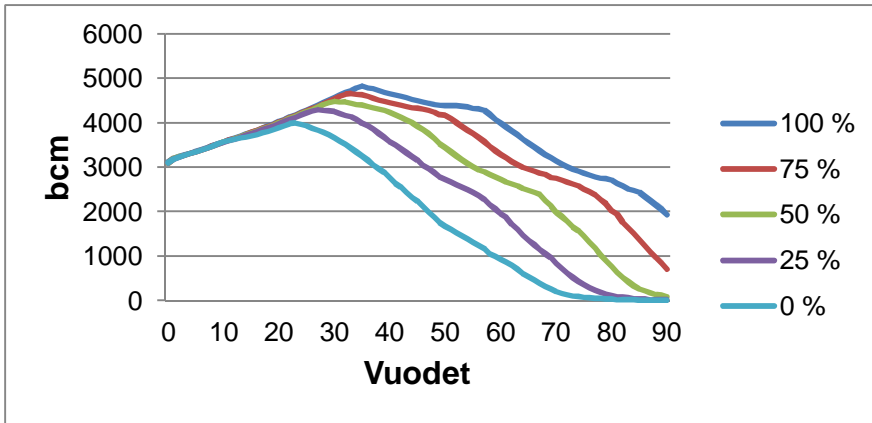
Kuva 6.2. Kaasun kysynnän kehitys nykyhetkestä 90 vuotta eteenpäin.

6. Globaalin kaasunkäytön perusura



Kuva 6.3. Perusuran kaasun tuotanto. Tarkastelujakson lopussa erottuvat ne tuottajat, joilla kaasu riittää pitkälle: Iran, Qatar, Venäjä ja Turkmenistan.

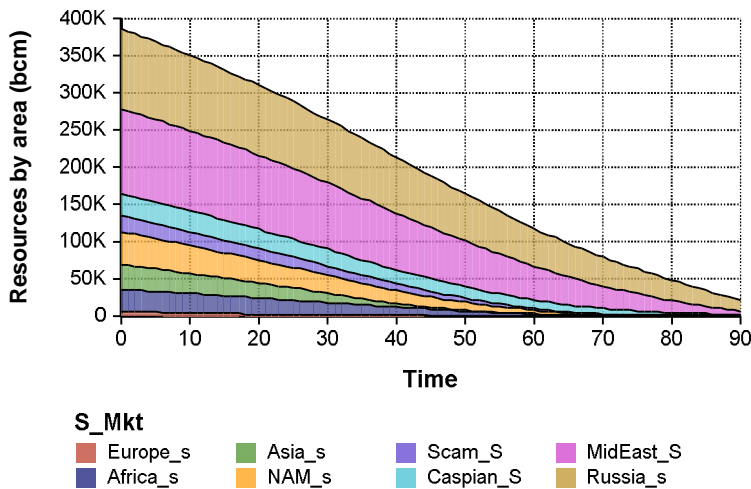
Kuvassa 6.4 on esitetty, miten globaaliin kaasun tuotannon ja kulutuksen käy eri oletuksin kaasun lisävaroista.



Kuva 6.4. Kaasun lisävarojen määrän vaikutus niiden riittävyyteen.

Jos lisävaroja ei löydetä lainkaan, kulutus alkaa laskea noin 25 vuoden kuluttua. Kaikkien lisävarojen hyödyntäminen myöhentää väijäämätöntä kulutuksen laskua kymmenellä vuodella. Se edellyttää nyt tunnettujen varantojen kaksinkertaistamista. Mitä enemmän lisävaroja löytyy, sitä hitaammin tuotanto laskee. Esimerkiksi vuosituotanto laskee tasolle 3 000 bcm 0 %:n lisävaroilla 40 vuoden kuluttua, mutta 100 %:n lisävaroilla reilu 20 vuotta myöhemmin. Laskelmissa on oletettu, että Saudi-Arabia ja Iran tulevat mukaan kansainväliseen kaasukauppaan kymmenen vuoden kuluttua. Etenkin Iranin kaasuvarat ovat valtavat ja niillä on suuri merkitys globaaliin kaasumarkkinoiden tilaan.

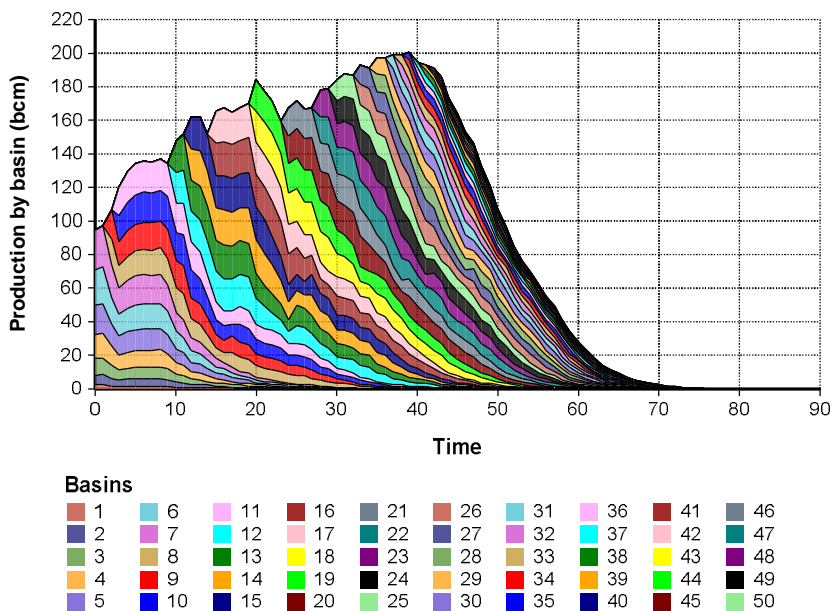
Jäljellä olevien resurssien kehitys perusuralla on esitetty kuvassa 6.5.



Kuva 6.5. Jäljellä olevat kaasureservit tuotantoalueittain (Tuotantoalueet = S_Mkt. Taulukko 1.1).

Lähi-idässä on suurimmat varat ja Venäjä on hyvä kakkonen. Kaikki muut alueet ovat suhteellisen pieniä näihin verrattuna. Merkitys maailmankaupan kannalta riippuu sitten siitä, miten suuri alueen oma kulutus on suhteessa alueen resurssihin. Lähi-idän oma kulutus on ollut viime vuosikymmeninä nopeassa kasvussa, kun taas Venäjällä käyttö on viime vuosina pysynyt lähes samana.

Esimerkkinä yhden maan tuotannosta esitetään kuvassa 6.6 Algerian toteutuva tuotanto perusuralla esiintymittäin. Se on laskettu olettamalla esiintymiä olevan 50 kpl ja kussakin esiintymässä on 2 kenttää. Yhteensä siis 100 kenttää. Nämä oletukset koskevat kaikkia tuottajia.



Kuva 6.6. Algerian tuotanto yli ajan kuvattuna summana yli esiintymäkohtaisten (Basin) tuotantojen summana.

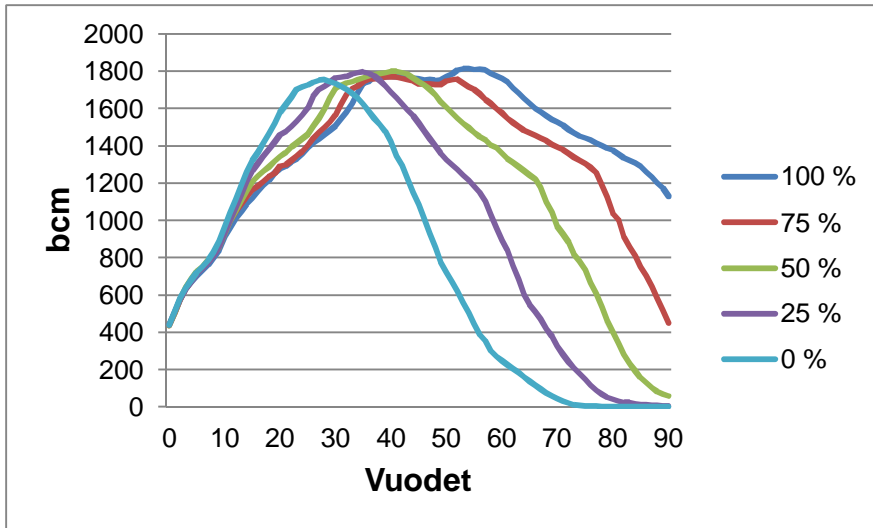
Pohjois-Afrikan kaasuntuotanto on kilpailukykyistä, mikä pitää tuotannon kasvuralla niin pitkään kuin mahdollista ja Algeria lisääkin tuotantoaan melko tasaisesti niin kauan kunnes vääjäämätön lasku alkaa neljän vuosikymmenen kuluttua.

6.3 Alueiden välinen kauppa

Alueiden välisen kaupan kehittyminen kuvaa kaasukaupan globalisoitumista. Merkittäviä kaasun tuontialueita ovat Eurooppa ja Aasian-Tyynenmeren alue. Vienti-alueista tärkeimmät ovat Venäjä, Lähi-itä, Afrikka ja Kaspianmeren (Keski-Aasian) alue. Pohjois-Amerikka on suunnilleen omavarainen tällä hetkellä lähinnä liuskekaasun tuotannon laajenemisen ansiosta. Etelä-Amerikka on kehittyvä talousalue. Etenkin Venezuelan kaasuvarat ovat suuret: se on maailmanlistalla sijalla 8 tun-

nettujen varojen suuruudessa (BP 2012). Jää nähtäväksi, miten nopeasti kaasuvaroja hyödynnetään ja mihin suuntaan niitä kaupataan.

Kaasumarkkinoiden globalisaation mittana käytetään tässä alueiden välisen kaasukaupan määrää ja osuutta koko tuotannosta tai kulutuksesta. Kuvassa 6.7 on esitetty kaasukaupan kokonaismäärä resurssimäärien vaihdellessa.



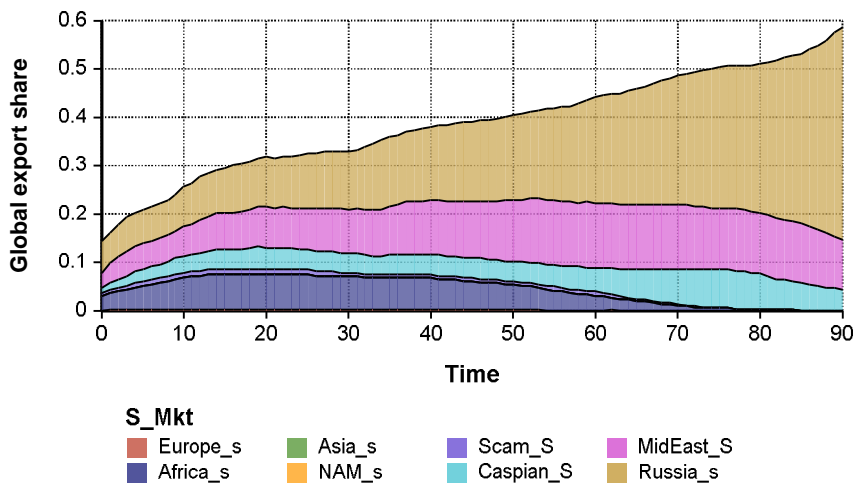
Kuva 6.7. Maakaasun aluemarkkinoiden välinen kauppa kokonaisuudessaan.

Alueiden välisen kaupan kasvu toteutuu vääjäämättä, resurssiarvioista huolimatta. Alueiden välinen kaasukauppa kasvaa yli nelinkertaiseksi parissa vuosikymmenessä. Se vastaa 6 %:n vuosikasvua. Kauppa kasvaa sitä nopeammin, mitä vähemmän lisäresursseja on käytössä. Tämä johtuu siitä, että lisäresurssien määrä vaikuttaa eniten niillä alueilla, joilla kaasua on vähiten, eli tuoja-alueilla. Niillä maille ja alueilla, jotka nyt vievät kaasua, on suuret kaasuvarat ilman lisäresurssejakin, joten ne pystyvät vastaamaan tuojien lisääntyneeseen tuontitarpeeseen. Mitä suuremmat resurssit ovat, sitä pidempään kauppa pysyy korkealla tasolla.

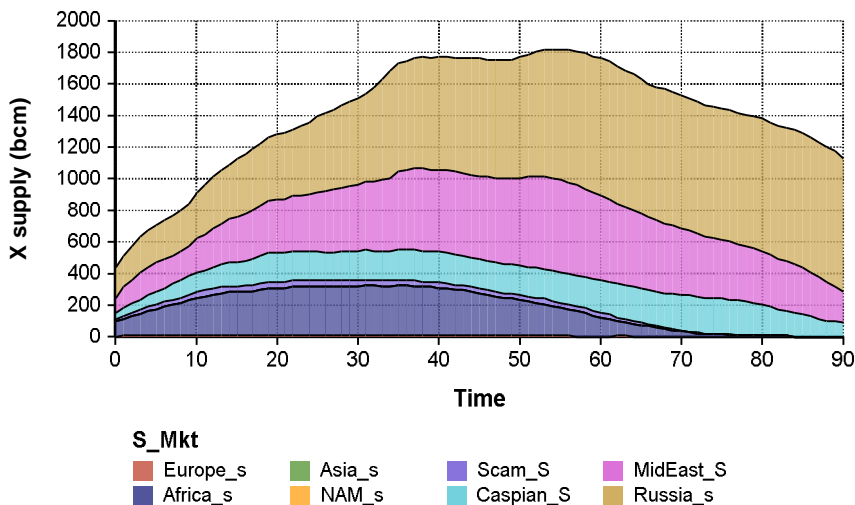
Maakaasumarkkinat ovat tämän mukaan suurten muutosten edessä. WEO:n mukaan maailmankauppa on tässä esitettyä vähäisempää. Se voi perustua vain siihen, että kaasua tuovat alueet, kuten Eurooppa, kuluttavat omia resurssejaan tässä oletettua vauhtia nopeammin. Tällöin oman tuotannon laskuvaihe tulee olemaan tässä esitettyä rajumpi. Oletukset Euroopan resurssivaroista poikkeavat näiden kahden laskelman välillä toisistaan, ja sillä on oma vaikutuksensa Eurooppaa koskeviin tuloksiin.

6.4 Kaasun viejät ja tuojat

Kaasun vienti, osuutena kokonaiskulutuksesta ja kaasuna mitattuna selviää kuvista 6.8 ja 6.9.



Kuva 6.8. Kaasun vienti perusuralla. Pystyakseli mittaa tuonnin osuutta kokonaiskulutuksesta. Vuosi 0 viittaa vuoteen 2010.

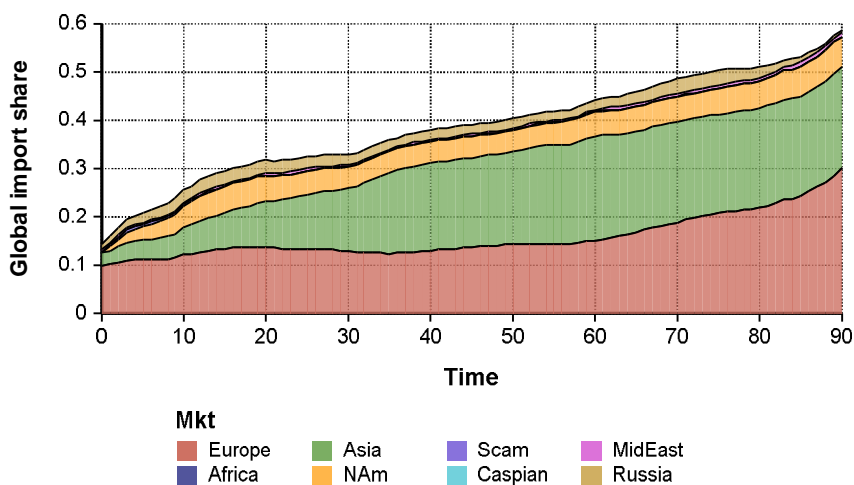


Kuva 6.9. Vienti miljardeina kuutioina viejälueittain. Vuosi 0 viittaa vuoteen 2010.

Kaasun kansainvälisen kaupan osuus kaasun kulutuksesta kaksinkertaistuu WEO:n skenaarionjaksolla, ja se jatkaa kasvuaan koko tarkastelujakson. Euroopan osuus kasvaa jonkin verran, mutta eniten kasvaa Aasian kaasuntuonti: oletettu taloudellinen kehitys vaatii käyttövoimaksi myös valtavan määrän kaasua.

Afrikka, Kaspianmeren alue, Lähi-itä ja Venäjä ovat keskeiset viejäalueet. Venäjän suuri vientikyky verrattuna Lähi-idän maihin, joilla on suunnilleen yhtä suuret kaasuvarat, perustuu siihen, että sen oma kulutus ei kasva samalla tavalla kuin Lähi-idän maissa. Edellytys Venäjän viennin kasvulle on luonnollisesti se, että uudet kentät saadaan ajallaan käyttöön.

Kaasun tuonti osuutena kokonaiskäytöstä on kuvan 6.10 mukainen.



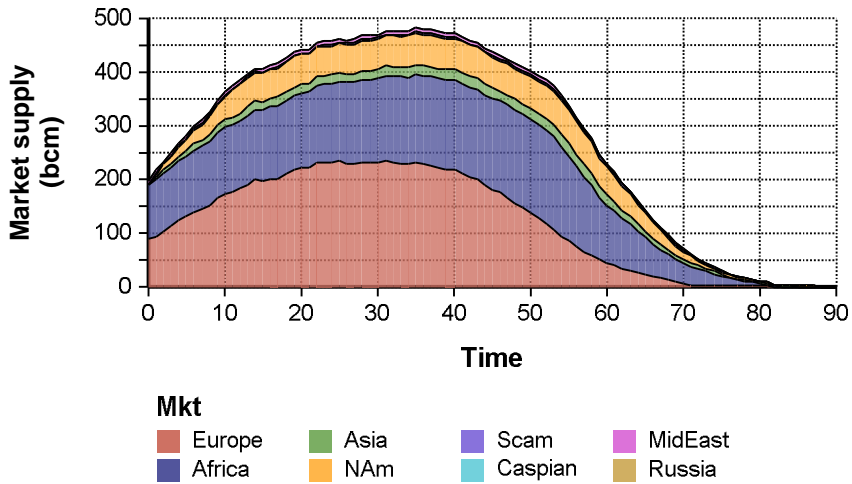
Kuva 6.10. Kaasun tuonti, kun lisäresursseja on 100 %. Pystyakseli mittaa tuonnin osuutta kokonaiskulutuksesta. Vuosi 0 viittaa vuoteen 2010.

Selkeät alituotantoalueet ovat Eurooppa ja Aasia. Pohjois-Amerikka ja Venäjä tuovat myös, mutta paljon vähemmän. Viimemainittu tuo kaasua Kaspianmeren alueen maista tällä hetkellä, ja tässä on oletettu, että se jatkuu pitkälle tulevaisuuteenkin.

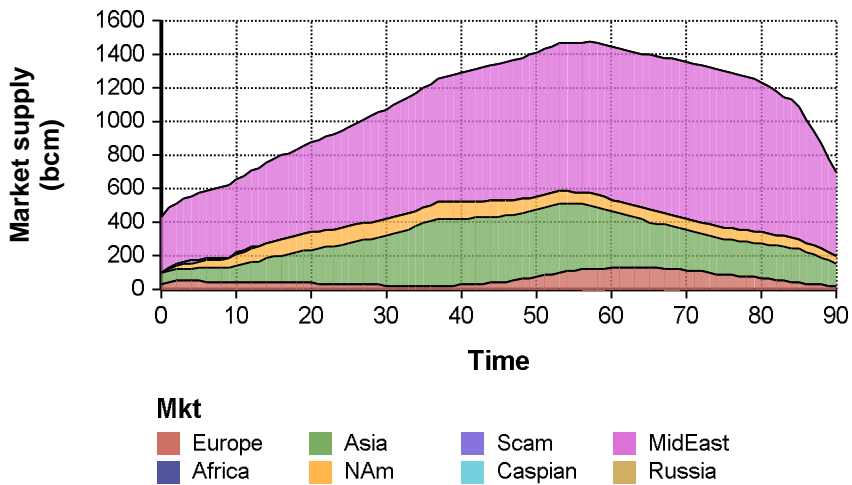
Eurooppa on tällä hetkellä suurin tuoja, mutta perusuralla Aasia tulee ohittamaan Euroopan muutaman vuosikymmenen kuluttua. Pohjois-Amerikan tuonti Lähi-idästä törmää siirtokanavan ylärajan jakson loppupuolella. Tällöin Qatarilla ja Iranilla olisi kaasua enemmänkin vietäväksi kuin nyt ylärajaksi määritelty noin 70 bcm:n vuosikapasiteetti.

Katsotaan vielä keskeisten viejäalueiden, Afrikan, Lähi-idän ja Venäjän, tuotannon ohjautumista eri alueille. Tarkoitus on selventää sitä, miten suuri kauppa-kumppani Eurooppa on näille alueille, kuvat 6.11–6.13.

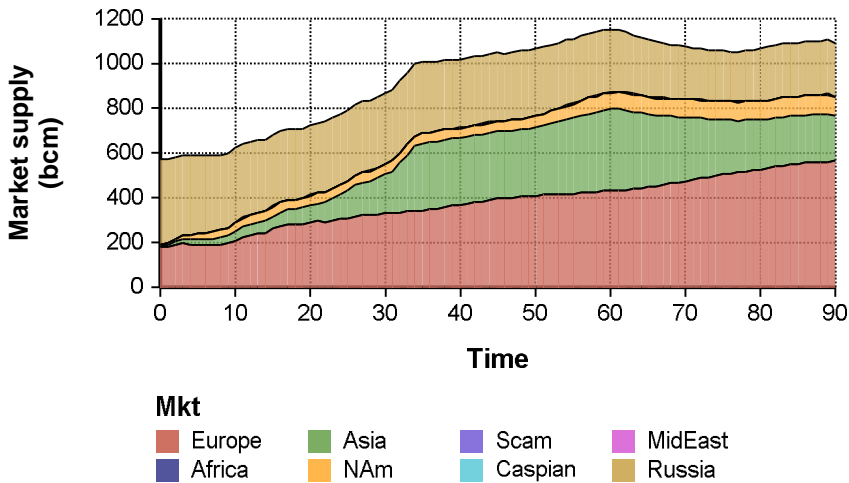
6. Globaalin kaasunkäytön perusura



Kuva 6.11. Afrikan tuotannon ohjautuminen eri markkinoille. Vuosi 0 viittaa vuoteen 2010.



Kuva 6.12. Lähi-idän tuotannon ohjautuminen eri markkinoille. Vuosi 0 viittaa vuoteen 2010.



Kuva 6.13. Venäjän tuotannon ohjautuminen eri markkinoille. Vuosi 0 viittaa vuoteen 2010.

Afrikalle ja Venäjälle Eurooppa on todella suuri kauppakumppani, mutta Lähi-idän oma käyttö on selvästi suurin sen alueen maiden tuotannon käyttäjä. Aasian merkitys kasvaa, mutta jää lopulta Lähi-idän kotimarkkinoiden varjoon. Tässä on oletettu, että Lähi-itä noudattaa Euroopan suhteen hieman korkeampaa hinnoittelua kuin Aasian markkinoille. On siis oletettu, että perusuralla Lähi-itä suuntautuu itään, Aasiaan.

Afrikan kaasuresurssit ovat selvästi pienemmät kuin Venäjän tai Lähi-idän. Tarkasteluajavälillä ne tulevat loppuun käytetyiksi, kun taas kaksi muut tuotantoaluetta jatkavat suurin volyymein huomattavasti pidemmälle.

Lähi-idän oma kaasunkulutus kasvaa todella voimakkaasti WEO:n skenaariossa. Jopa niin paljon, että se herättää jo epäilyä. Tässä on jatkettu WEO-skenaariota ajassa eteenpäin mukauttaen sitä niin, että kysynnän suhde BKT:n kasvuun putoaa vuoden 2040 jälkeen.

Kuvassa 6.13 on oletettu, että Venäjän toimitukset Aasian markkinoille voivat kasvaa voimakkaasti. Siihen sisältyy sekä meri- että putkikuljetuksin hoidettavat viennit (sekä LNG-vienti että putkikaasu). Näiden yhteiseksi ylärajaksi on määriteltä 300 bcm vuodessa ennen vuotta 2060 ja vienti tosiaan nousee muutamaksi vuodeksi tälle tasolle. Mainitun vuoden jälkeen vientikanavan koko kasvaa vielä jonkin verran kuten muidenkin vientikanavien, mutta vienti ei täytä koko kanavaa.

7. Euroopan kaasunhankinta

Seuraavassa tarkastellaan Euroopan kaasunhankinnan tulevaisuutta yllä esitetyn perusuran virittämässä tulevaisuudessa. Resurssiepävarmuuden lisäksi tarkastellaan muitakin kaasun tuontiin liittyviä epävarmuuksia ja niiden vaikutusta Euroopan kaasunkäytön tulevaisuuteen.

7.1 Hankinnan epävarmuuksia

Euroopan kaasunhankinta kohdentuu neljälle alueelle, jotka ovat Eurooppa, Afriikka, Lähi-itä ja Venäjä. Euroopan riippuvuus kaasun tuonnista tulee kasvamaan tulevaisuudessa, mutta onko kaasua saatavissa WEO-skenaariota mukaisesti?

Eräs asiaan vaikuttava tekijä on kaasuntuottajamaiden oma kaasun käyttö, joka kuitenkin on jonkinlaisessa erityisasemassa vientiin nähden. Venäjällä kaasun hintataso on historiallisista syistä hyvin alhainen. Se on niin alhainen, että myynti kotimaahan ei kerrytä riittävästi varoja uusien, hankalissa paikoissa sijaitsevien esiintymien käyttöön ottamiseksi. Vienti – ja Eurooppa on Venäjän vientikohteista selvästi tärkein – on Venäjän kaasusektorille hyvin tärkeää juuri siksi, että viennistä se saa rahaa kehityshankkeisiin. Niin kauan kuin kaasun hintataso Venäjällä on alhainen, Venäjä tarvitsee länsivientiä ylläpitääkseen ja kehittääkseen kaasuinfrastruktuuria. Ehkä keskeisin epävarmuus Venäjän vientikyvyssä on uusien kenttien käyttöönoton viivästyminen. Myös kotimaisen kulutuksen kehittyminen on epävarmuutta luova tekijä. On ilmeistä, että Venäjän kaasunkäytössä, kuten energian käytössä yleensäkin, on paljon tehostamisen varaa. Jos jonkinasteinen tehostuminen toteutuisi, niin tämä vapauttaisi kaasua vientiin.

Siirtoreitistö Venäjän pohjoisilta tuotantoalueilta Eurooppaan on osittain iäkästä ja se kulkee sellaisten valtioiden (Ukraina ja Valko-Venäjä) läpi, joissa on tiettyä poliittista epästabiiliutta. Vastauksena tähän ongelmaan Venäjän onkin jo ryhtynyt uusimaan siirtoputkistojaan. Itämeren pohjalla kulkeva North Stream (kapasiteetti 55 bcm) on yksi askel tähän suuntaan. Toinen uusi linjasto, South Stream, tulee kulkemaan Turkin läpi. Tästä asiasta Venäjä on jo Turkin kanssa allekirjoittanut sopimuksen. Sen kapasiteetiksi on suunniteltu 63 bcm. Näiden lisäyksien jälkeen Venäjän siirtoputkiston koko kapasiteetti Eurooppaan on 319 bcm.

Lähi-idän tuottajat ovat avainasemassa maailman maakaasumarkkinoilla, sillä kaasuarvat, etenkin Qatarissa ja Iranissa, ovat valtavat. Qatarilla on tällä hetkellä voimassa päätös, joka rajoittaa kaasuntuotannon vuotuista määrää. Poliittiset päätökset voidaan muuttaa yhdessä hetkessä, joten ne ovat tällaisessa analyysissa vain suuntaa-antavia. Sukupolvien välinen oikeudenmukaisuus on tekijä, jolla voidaan perustella tuotannon maksiminopeutta hitaampaa kaasuarvarantojen hyödyntämistä.

Aasian energiannälkä on valtava. Nopeasti kehittyvät valtiot tarvitsevat taloudellisen kasvun ylläpitoon kaikkia saatavilla olevia energiamuotoja, niin uusiutuvia kuin fossiilisiakin energiavaroja. Maksuhalukkuuden ja -kyvyn voi olettaa Aasiassa olevan myös korkea. Sen vuoksi Lähi-idän tuottajien eräs strateginen valinta voi olla suuntautua Aasian markkinoille. Tätä ennakoitiin jo perusuran oletuksissa. Jos näin käy, niin Euroopan mahdollisuudet saada Lähi-idän kaasua täydentämään muiden kaasulähteiden niukkuutta voivat olla vähäiset.

Afrikan maiden kaasuarvat ovat maailmanmitassa arvioituna melko pienet, noin 10 % maailman kaasuarvoista. Pohjois-Afrikka sijaitsee Euroopan kannalta niin lähellä, että on vaikea kuvitella (hinnan lisäksi), miksi Afrikan maat haluaisivat viedä jonnekin muualle, esim. Amerikan mantereelle. Nigeria on sen verran kaukana, että Saharan poikki luonnostelu putki, joka mahdollistaisi kaasun putkivienin Eurooppaan, tuskin toteutunee. Laskelmissa on siten oletettu merireitti Nigerian kaasun vientikanavaksi Eurooppaan. Yhdysvallat on vain jonkin verran kauempana kuin Eurooppa, joten se on todellinen kilpailija Nigerian kaasulle, jos tuontitarve siellä voimakkaasti kasvaa. Se on mahdollista, jos epäkonventionaalisten kaasuarvojen tuotannossa ilmenee vaikeita ongelmia. Afrikan maiden oman kuluksen kasvu taloudellisen kehityksen myötä on myös varteenotettava epävarmuustekijä pitkällä aikavälillä.

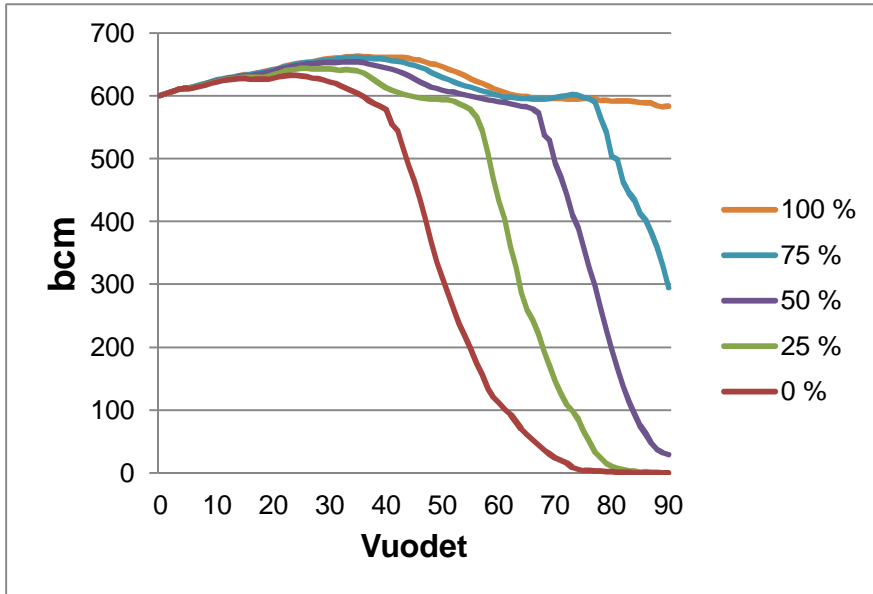
7.2 Jos epävarmuudet realisoituvat rajoituksina

Tarkastellaan seuraavassa ensin globaalin resurssitilanteen heijastuksia Eurooppaan ja sitten kolmea mahdollista kehityskulkua, jotka koskettavat erityisesti Eurooppaa. Ne ovat: i) Venäjän kenttien käyttöönotto viivästy; ii) edellisen lisäksi sekä Afrikka että Lähi-itä rajoittavat vientinsä sunnilleen nykyiseen tasoon; ja iii) sekä Afrikka että Lähi-itä rajoittavat vientinsä sunnilleen nykyiseen tasoon, mutta Venäjän tuotannossa ei ole ongelmia.

Toinen tapaus on Euroopan kannalta kaikkein hankalin, sillä siinä kaikilla päätuontialueilla on rajoituksia. Muut kaksi tapausta ovat sellaisia, joissa löytyy ainakin yksi kompensoiva taho. Seuraavassa esitettävät laskelmat on tehty lisäresurssitasolla 50 %. Verrattuna perusuraan eroa tulee ainoastaan siitä, että kaasusta tulee aiemmin niukkuutta. Tarjontamuutokset tarkastelujakson alussa johtavat samanlaisiin tilanteisiin resurssitasosta riippumatta.

7.2.1 Globaalit resurssiarviot ja Eurooppa

Tarkastellaan Euroopan tilannetta ensin resurssiarvioiden valossa, kuva 7.1.



Kuva 7.1. Euroopan kaasunhankinta eri globaalein resurssiarvioin.

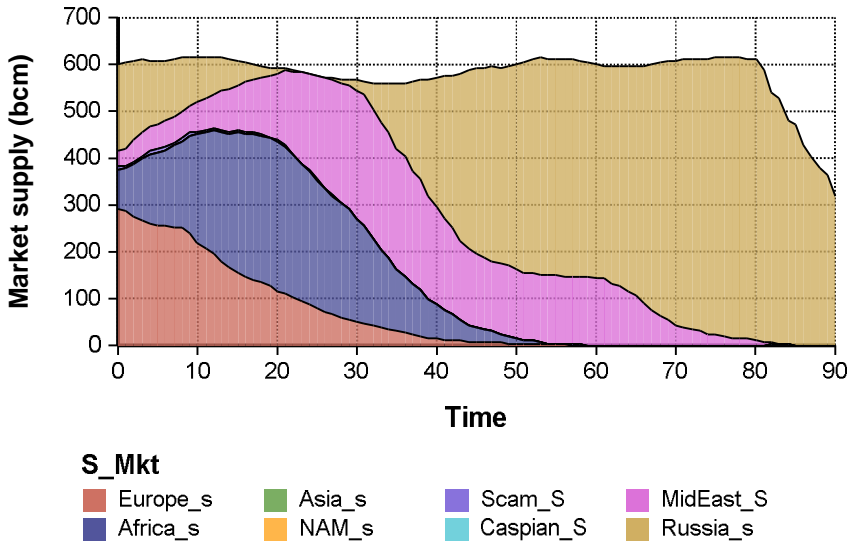
Runsaiden lisävarojen tapauksissa Euroopan kaasunhankinta näyttäisi onnistuvan erinomaisesti. Perusuralla kaasua riittää nykytasoiseen kulutukseen koko tarkastelujakson ajan. Jos taas joudutaan tulemaan toimeen vain nyt tunnetuin varoin, niin viimeistään kolmen vuosikymmenen päästä alkavat niukkuuden ajat.

Kaasun käytön huippu on lähes sama resurssiarviosta riippumatta. Se ajoittuu luonnollisesti hieman aiemmaksi vähäisten resurssien tapauksessa. Suurin ero syntyy kuitenkin laskuvaiheessa, jossa suurin resurssien pystytään ylläpitämään korkeahkoa käyttötasoa paljon pidempään. Esimerkiksi käyttötaso 500 bcm vuodessa alitetaan noin 40 vuoden kuluessa, mutta 50 % lisäresurssien vasta kolme vuosikymmentä myöhemmin. Tällöin vain nykyisin kaasuresurssien varassa toimitaessa (0 %) kaasun käyttö on jo saavuttanut 0-tason. Voidaan siis todeta, että niukkuuden aikakausi jatkuu runsain resurssien kauemmin kuin vähäisin lisäresurssien.

7.2.2 Tuontialueiden kehitys ja Eurooppa

Seuraavaksi tarkastellaan, miten Euroopan kaasunhankinta muuttuu, jos yhdellä tai useammalla Euroopan kaasuntuontialueella ilmenee teknisiä tai poliittisia häiri-

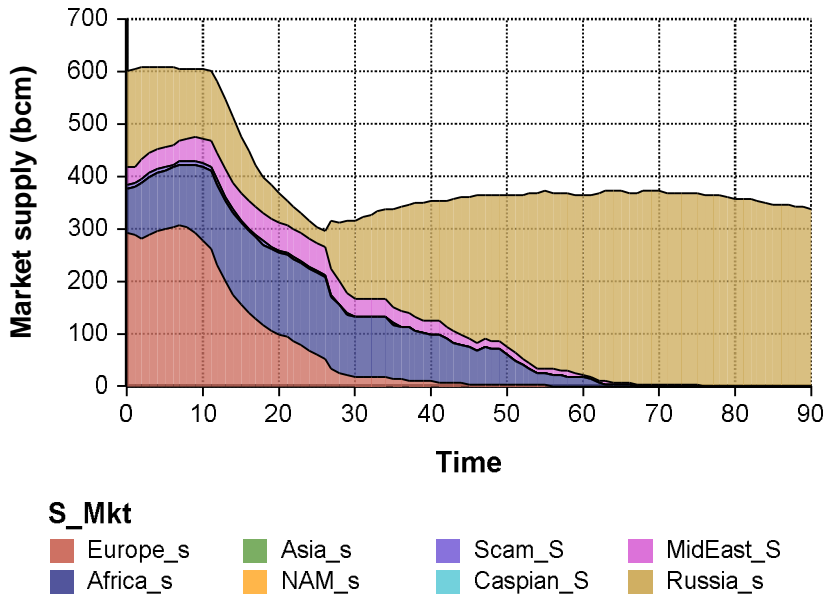
öitä. Resurssiarviot on nyt valittu oletetun vaihteluvälin puolivälistä (lisäresursseja tulee käyttöön 50 % maksimista), kuvat 7.2–7.4



Kuva 7.2. Euroopan kaasunhankinta, kun Venäjän kenttien käyttöönotto viivästyy, mutta Afrikka ja Lähi-itä kompensoivat.

Venäjän kenttien merkittävä, 25 vuoden, viivästyminen vie Venäjän vientimahdollisuudet Eurooppaan nollaan tarkastelujakson kolmanneksi vuosikymmeneksi. Puuttuvan Venäjän tuonnin pystyvät kuitenkin Afrikka ja Lähi-itä kompensoimaan. Tämä edellyttää nopeata vientikanavien kapasiteetin kasvattamista eli LNG-laivojen määrän merkittävää lisäystä. Tässä on oletettu, että se olisi mahdollista. Euroopan kaasun käyttö notkahtaa, mutta vain vähäisessä määrin. Lähi-idän maat noudattavat edelleen samaa strategista hinnoittelua Euroopan suhteen, mutta Eurooppa on käytetyin oletuksien valmis maksamaan kulutusmahdollisuudesta. Kun Venäjän kriisi on ohi, sen vientikyky palautuu vuosikymmenessä.

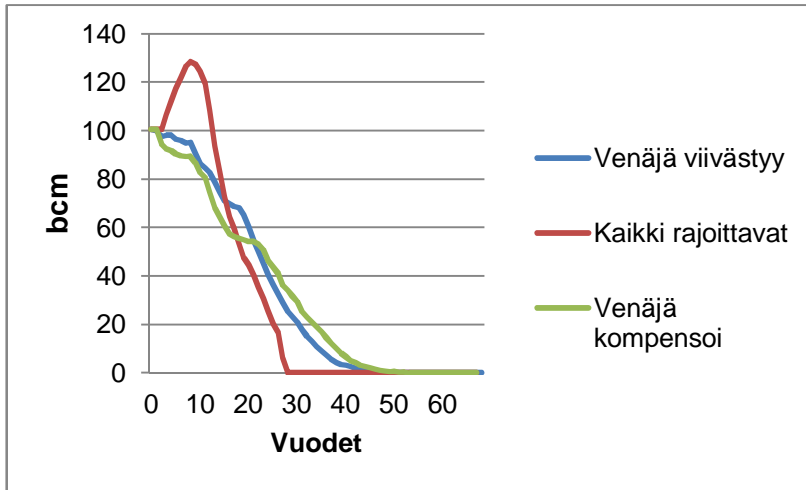
Jos Afrikka ja Lähi-itä eivät pystykään lisäämään vientiään Eurooppaan, niin päädytään kuvan 7.3 tilanteeseen.



Kuva 7.3. Euroopan kaasunhankinta, kun kaikki Eurooppaan toimittavat tuotanto-alueet rajoittavat vientiään.

Euroopan omaa tuotantoa pystytään nostamaan jonkin verran, mutta se ei pitkälle riitä. Kulutuksen on pudottava puoleen ja se merkinnee kylmiä huoneita ja vilkkuvia valoja. Kun kriisiin on sopeuduttu, niin Venäjän palautuva tuotantokykykään ei nosta Venäjän tuontia kuvan 7.2 tasoa vastaavaksi: energijärjestelmä on muuttunut lopullisesti.

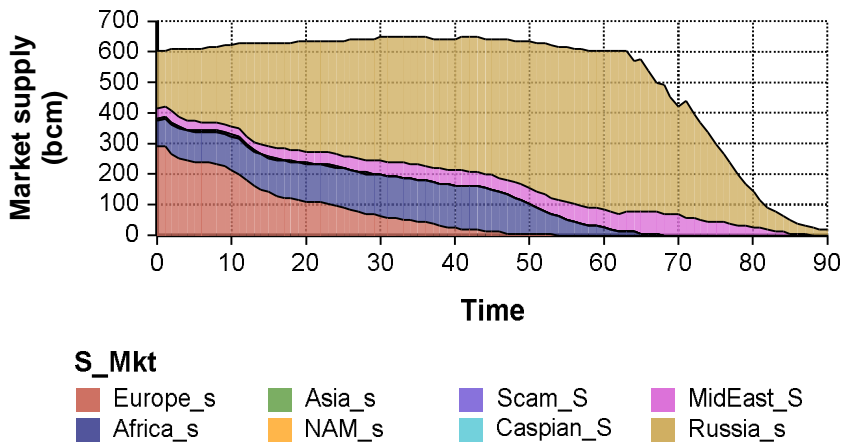
Euroopan tuottajatkin reagoivat muuttuneisiin hankintaolosuhteisiin kykynsä mukaan. Tuotannon ollessa supistumassa ei reagointimahdollisuuksia kovin paljon ole yleisesti, mutta joillain tuottajilla riittää resursseja tuotannon lisäykseen. Esimerkiksi Norja voi lisätä hetkellisesti tuotantoaan, kuva 7.4.



Kuva 7.4. Norjan tuotanto eri tapauksissa.

Kaksi muuta kriisitilannetta johtaa hyvin samankaltaiseen tuotantoprofiiliin, mutta kriiseistä äärimmäisin johtaa Norjan kaasuvarojen mahdollisimman nopeaan hyödyntämiseen. Sen vastapainona tuotantomäärien supistuminen on nopeaa.

Kolmannessa kriisiskenaariossa tarkastellaan Venäjän kompensatiomahdollisuuksia Afrikan ja Lähi-idän viennin rajoituksiin, kuva 7.5.



Kuva 7.5. Euroopan kaasunhankinta, kun Afrikka ja Lähi-itä pitävät vientinsä Eurooppaan ennallaan, mutta Venäjällä ei ole vientirajoitteita.

Venäjän kaasuvarat riittävät Euroopan tarpeisiin pitkäksi aikaa, mutta nykyinen ja suunniteltu siirtokapasiteetti tulee muodostamaan pullonkaulan tässä skenaariossa.

Kahden vuosikymmenen kuluttua nykyinen siirtokapasiteetti alkaa rajoittaa Euroopan kaasun käyttöä, jos Venäjän siirtokapasiteetti Eurooppaan ei kasva. Kuvassa on oletettu siirtokapasiteetin laajentuvan vähintään kysyntää vastaavasti.

Kenen kaasua Eurooppa siis polttaa tulevina vuosikymmeninä? Yllä esitetyt skenaariot tuovat esiin ensinnäkin, että Euroopan oma tuotanto on nopeasti vähenemässä eikä pahankaan kriisin sattuessa mitään oleellista tuotannon nostomahdollisuutta ole. Sen vuoksi ratkaisu löytyy tuonnista.

Venäjän kenttien viivästynyt käyttöönotto korostaa Lähi-idän tuonnin merkitystä. Jos Lähi-itään ei ole vahvoja kauppasuhteita ennalta, voi olla vaikeaa saada nopeasti aikaan suuri tuontikanava kaasulle. Afrikka on jo nyt merkittävä kaasukaupakumppani Euroopalle, joten näiden suhteiden ylläpito ja vahvistaminen on tärkeää. Lähi-idän tuontia voisi täydentää Kaspianmeren alueen suora tuontimahdollisuus. Nythän sen alueen kaasu virtaa Eurooppaan Venäjän putkistoa pitkin. 30 vuotta viritelty Nabucco-hanke liittyy juuri tähän problematiikkaan. Merkittävien tekijä Euroopan tulevaisuuden kaasun hankinnassa on Venäjä. Ilman Venäjän-tuontia ei Eurooppa voi mitenkään ylläpitää skenaarioissa hahmoteltua kaasun kulutustasoa.

Vastauksena jo julkaisun nimessä olevaan kysymykseen voidaan tässä esitettyjen analyysien pohjalta sanoa seuraavaa: Eurooppa polttaa jatkossa Venäjän ja Afrikan kaasua ja toivottavasti myös merkittäväällä osuudella Lähi-idän ja Kaspianmeren (Keski-Aasian) alueella tuotettua kaasua.

8. Yhteenveto

Hankkeessa on laadittu malli maakaasuskenaarioiden luontiin ja analysointiin. Se perustuu yksittäisen kentän tuotannon kuvaukseen. Tuotantokentät kootaan esiintymiksi ja esiintymät muodostavat tuottajavaltion resurssit. Esiintymät otetaan käyttöön kumulatiivisen tuotannon etenemisen mukaan.

Laadittua mallia on käytetty Euroopan maakaasutulevaisuuden arviointiin käyttäen perusurana IEA:n julkaiseman uusimman World Energy Outlook 2012:n mukaista kehityskulkua. Ensin tarkasteltiin perusuraa eri kulmista, sitten tehtiin muutamia variaatioita ja tarkasteltiin Euroopan kaasunhankinnan tulevaisuutta kussakin tapauksessa. Venäjän ja Afrikan roolit tulevat olemaan tärkeitä Sen lisäksi Lähi-idän kaasu täydentää oivallisesti Afrikkaa häiriöttömän kaasunsaannin turvaamisessa. Kaspianmeren alueelta tuleva siirtokanava Eurooppaan täydentäisi hankintakokonaisuutta hyvin.

Lähdeluettelo

BP Statistical Review of World Energy. June 2012.

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

Kallio, M., Moiseyev, A. & Solberg, B. The global forest sector model EFI-GTM – The model structure. European Forest Institute. Internal report no. 15. Joensuu 2004.

Mohr, S. Projection of world fossil fuel production with supply and demand interactions. PhD dissertation, The University of Newcastle, Australia 2010.

Söderbergh, B., Jakobsson, K. & Aleklett, K., European energy security: The future of Norwegian natural gas production. Energy Policy 37, 2009.

Söderbergh, B., Jakobsson, K. & Aleklett, K. European energy security. An analysis of future Russian natural gas production and exports. Energy Policy 38, 2010.

World Energy Outlook (WEO) 2012. International Energy Agency. Paris 2012.

Nimeke	Kenen kaasua poltat, Eurooppa?
Tekijä(t)	Juha Forsström
Tiivistelmä	<p>Julkaisussa on laadittu malli maakaasuskenaarioiden luontiin ja analysointiin. Se perustuu yksittäisen kentän tuotannon kuvaukseen. Tuotantokentät kootaan esiintymiksi ja esiintymät muodostavat tuottajavaltion resurssit. Esiintymät otetaan käyttöön kumulatiivisen tuotannon etenemisen mukaan.</p> <p>Laadittua mallia on käytetty Euroopan maakaasutulevaisuuden arviointiin käyttäen perusurana IEA:n julkaiseman uusimman World Energy Outlook 2012:n mukaista kehityskulkua. Ensinnäkin tarkasteltiin perusuraa eri kulumista ja sitten tehtiin muutamia variaatioita ja tarkasteltiin Euroopan kaasunhankinnan tulevaisuutta kussakin tapauksessa. Koska Euroopan oma kaasuntuotanto on laskevalla uralla, niin häiriöttömän kaasunsaannin turvaamisessa Venäjän ja Afrikan toimitukset tulevat olemaan tärkeitä. Sen lisäksi Lähi-idän kaasu täydentää hankintalähdekokonaisuutta oivallisesti. Jos vielä Kaspianmeren alueelta saataisiin siirtokanava suoraan Eurooppaan, niin tällöin hankinta olisi mahdollisimman monipuolinen.</p>
ISBN, ISSN	ISBN 978-951-38-7844-3 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp) ISSN 2242-122X (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)
Julkaisu-aika	Kesäkuu 2012
Kieli	Suomi
Sivumäärä	52 s.
Projektin nimi	Suomalainen tulevaisuuden energialiiketoiminta – skenaariot ja strategiat (SALKKU)
Toimeksiantajat	Tekes, Gasum Oy, Metso Power Oy, Teknologiateollisuus ry, Helsingin Energia, VTT, MTT
Avainsanat	Natural gas, modelling, natural gas production
Julkaisija	VTT PL 1000, 02044 VTT, Puh. 020 722 111

Kenen kaasua poltat, Eurooppa?

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

SALKKU-hankkeen julkaisuja VTT Technology -sarjassa:

- 22 Similä, Lassi. Energiahyödykkeiden merikuljetukset. 2012.
- 25 Koljonen, Tiina, Koreneff, Göran, Similä, Lassi, Forsström, Juha, Ekholm, Tommi, Lehtilä, Antti, Ruska, Maija, Pahkala, Katri, Hakala, Kaija, Lötjönen, Timo, Niemeläinen, Oiva, Rintamäki, Heidi, & Aro-Heinilä, Esa. Suomalainen tulevaisuuden energialiiketoiminta – skenaarit ja strategiat. SALKKU-hankkeen yhteenvetoraportti. 2012.
- 28 Ruska, Maija, Koljonen, Tiina, Koreneff, Göran & Lehtilä, Antti. Fossiiliset polttoainevarat ja -markkinat. 2012.
- 29 Forsström, Juha. Kenen kaasua poltat, Eurooppa? 2012.