

TAMPEREEN YLIOPISTO
Johtamiskorkeakoulu

Dynaamiset stokastiset yleisen tasapainon mallit - korkojen aikarakenne ja
ennustaminen

Kansantaloustiede
Pro gradu -tutkielma
Ohjaaja: Hannu Laurila
Huhtikuu 2012

Ville Nieminen

TIIVISTELMÄ

Tampereen yliopisto

Johtamiskorkeakoulu

NIEMINEN, VILLE: Dynaamiset stokastiset yleisen tasapainon mallit - korkojen aikarakenne ja ennustaminen

Pro gradu -tutkielma: 51 sivua

Kansantaloustiede

Huhtikuu 2012

Avainsanat: uuskeynesiläinen DSGE-malli, sokit, talouden ennustaminen

Dynaamiset stokastiset yleisen tasapainon mallit, eli DSGE-mallit, ovat viimeisten vuosikymmenten aikana kasvattaneet suosiotaan makrotaloudellisten analyysien ja ennusteiden tuottajien keskuudessa. Ne ovat oletuksiltaan talousteorian käyttäytymismalleihin sekä optimointiteoriaan pohjautuvia malleja, joiden avulla pyritään esittämään kaikki talouden sektorit ja luomaan kattava kuva taloudesta kokonaisuutena. Malleihin sisällytetään stokastisia sokkeja luomaan talouteen suhdannevaihteluita. Niiden dynaamisuus tulee nykyhetken valintojen vaikutuksesta tulevaisuuteen, minkä johdosta odotusten merkitys malleissa kasvaa.

Viimeaikaisten DSGE-mallien kehitystyö on siirtänyt tutkimuksen painopistettä kohti rahoitusmarkkinoiden epätäydellisyyksiä, minkä vuoksi korkojen aikarakenteen käyttäytyminen talouden suhdanteissa on noussut suureksi kiinnostuksen kohteeksi. Tuottokäyrän muotoon ja makrotalouteen vaikuttavat rahapolitiikan lisäksi talouteen iskevät sokit. Reaalitalouden muuttujien reagointi rahapolitiikan muutoksiin yleensä vahvistuu, kun DSGE-malliin sisällytetään korkojen aikarakenne. DSGE-mallien lisääntynyt suosio talousennusteiden luomisessa johtuu niiden tuottamasta paremmasta ennustetarkkuudesta kuin löysemmin parametrisoitujen kilpailevien mallien. Lisäksi ne kestävät niin sanotun Lucas-kritiikin. Ennusteita luodessa tulisi miettiä, onko mallin oletusten ja rakenteellisten rajoitteiden puitteissa mahdollista tuottaa luotettavia ennusteita ja politiikkasuosituksia.

Tutkielma on luonteeltaan kirjallisuuskatsaus, joka esittelee alan viimeisimmän kirjallisuuden keskeisiä tuloksia. Tutkielma selvittää myös kahden DSGE-mallinnuksen koulukunnan välistä eroa. Reaalisten suhdannevaihteluiden teoria perustuu uusklassiseen näkemykseen reaalisten sokkien vaikutuksista talouteen, kun hinnat ovat joustavat. Uuskeynesiläisen koulukunnan DSGE-mallit ovat rakenteeltaan samankaltaisia kuin reaalisten suhdannevaihteluiden mallitkin, mutta uuskeynesiläisissä malleissa hinnat ja palkat oletetaan jäykiksi siinä mielessä, ettei niitä voi sopeuttaa kuin satunnaisesti tai sopeuttamisesta aiheutuu hinnan asettajalle kustannuksia. Tutkielmassa tarkastellaan DSGE-mallien rakennetta, korkojen aikarakennetta nykyaikaisissa DSGE-malleissa sekä ennusteen tuottamista DSGE-malleilla. Tutkielma toteaa DSGE-mallien menestyneen hyvin talouden vuorovaikutussuhteiden tarkastelussa sekä talouden ennustamisessa, mutta huomioi myös mallien kohtaamat haasteet sekä epäonnistumisen viimeisimmän finanssikriisin ennustamisessa.

Sisällysluettelo

1. Johdanto	2
2. Dynaamiset stokastiset yleisen tasapainon (DSGE) mallit	7
2.1 DSGE-mallien rakenne	7
2.1.1 Talouden sektorit	7
2.1.2 Kokonaiskysyntä ja -tarjonta	15
2.1.3 Sokkiprosessit	16
2.2 DSGE-mallien estimointi	18
2.2.1 Bayesin teoreema	18
2.2.2 Kalman-suodin ja hiukkassuodin	19
2.2.3 Estimointimenetelmät	20
3. Korkojen aikarakenne	23
3.1 Aikarakenteen selityksiä	23
3.1.1 Tuotto- ja inflaatio-odotukset	25
3.1.2 Aikarakennetta selittäviä teorioita	26
3.2 Korkojen aikarakenne DSGE-malleissa	27
3.2.1 Korkojen dynamiikka	28
3.2.2 Sokkien vaikutukset	30
4. DSGE-mallien toimivuus	34
4.1 Ennustekäyttö	34
4.1.1 Ennusteen luominen	34
4.1.2 Ennustuskyky	37
4.2 DSGE-mallien haasteet	42
4.2.1 Makrotalousteoreettinen kritiikki	42
4.2.2 Mallien kehittämistarpeita	43
5. Yhteenveto	47
LÄHDELUETTELO	49

1. Johdanto

Uusklassisen näkemyksen mukaan täydellisesti kilpailluilla työ- ja hyödykemarkkinoilla joustavat hinnat ja palkat tasapainottavat markkinat sekä poistavat tahatonta työttömyyttä. Keynes (1935) vastasi tähän teoksessaan *The General Theory of Employment, Interest and Money*, väittäen, että kilpailullisten markkinoiden ja joustavien hintojen tapauksessa tasapainotilassa voi esiintyä myös tahatonta työttömyyttä. Keynesin mukaan kokonaiskysyntä voi määrittää tasapainotuotannon sekä työllisyyden ja näin ollen selittää myös pysyvän tahattoman työttömyyden.

Vallitsevan käsityksen mukaan tasapainotuotanto ja työllisyys ovat enemmänkin tarjontapuolen ilmiöitä, ja ne määrittyvät hyödyke- ja työmarkkinoiden rakenteellisten ominaisuuksien perusteella. Keynesin kilpailullisten markkinoiden mikroperustaa joustavien hintojen ja palkkojen tapauksessa ei vallitsevan käsityksen mukaan nähdä riittävänä selittämään miksi kokonaiskysyntä pitäisi tuotannon pois tasapainosta lyhyellä aikavälillä. Nykyään vallitsee laaja yksimielisyys siitä, että jos hyödyke- ja työmarkkinoilla vallitsee täydellinen kilpailu, hinnat ja palkat ovat joustavia ja odotukset muodostuvat rationaalisesti, niin tuotanto ja työllisyys eivät koskaan poikkea tasapainosta.

Uuskeynesiläisen makromallin keskeisin haaste on ollut näkemys yritysten määräävästä asemasta hintojen ja palkkojen määrittämisessä. Vallitsevan uuskeynesiläisen lähestymistavan mukaan yritykset asettavat hinnat ja ammattiliitot asettavat palkat. Molemmat toimivat epätäydellisen kilpailun ehdoin, yleensä monopolistisesti. Tämä selittää sen, miksi tuotanto ja työllisyys, mieluummin kuin hinnat ja palkat, vastaavat muutoksiin kokonaiskysynnässä. Uuskeynesiläinen makromalli sisältää myös lisäoletuksia, joiden avulla hinnat ja palkat saadaan sopeutumaan hitaasti. Tällaisia lisäoletuksia ovat esimerkiksi sopeuttamiskustannukset. Hintojen ja palkkojen hitaan sopeutumisen selittäminen, kun ne poikkeavat vastauksena tasapainosta, sekä niin sanotun hitaan inflaation tuottaminen on edelleenkin kiistanalaista. Tähän on yleensä vastattu ottamalla Phillipsin käyrä mukaan malliin.

Makrotaloudelliset mallit tulisi vallalla olevan käsityksen mukaan sitoa mikroperusteisiin, toimintansa optimoiviin agentteihin, joilla on rationaaliset odotukset. Tällä tavalla rakennettujen mallien tulisi kestää niin sanottu Lucas-kritiikki. Odotukset ovat tärkeitä mallien monissa muuttujissa ja muutokset politiikassa vaikuttavat todennäköisesti näihin oletuksiin. Niinpä politiikan muuttuminen voi aiheuttaa muutoksen mallin kokonaisriippuvuussuhteissa.

Lucas-kritiikin mukaan aineistosta estimoitavat parametrit eivät pysy vakioina, vaan muuttuvat, kun politiikka muuttuu. Mikäli tätä ei oteta huomioon simuloiteja ja ennusteita tehtäessä, saadaan tuloksena mahdollisesti virheellisiä tuloksia.

Uuskeynesiläisissä malleissa suhdanteet luonnehditaan yleensä muutoksina tasapainosta. Reaalisten suhdannevaihteluiden malleissa (RBC, Real Business Cycle) taas tarjontapuolen sokit tuottavat suhdannevaihteluita. RBC-mallit eroavat uuskeynesiläisistä malleista nimenomaan suhdannevaihteluiden näkökulmasta.

RBC-mallin tasapaino on yksikäsitteinen, sen määrittävät talouden fundamentit: toimijoiden preferenssit ja teknologia. RBC-malleissa suhdannevaihtelut syntyvät ulkoisten teknologiasokkien seurauksena ja ovat puhtaasti reaalinen ilmiö. Reaalisten suhdannevaihteluiden malli on moderni muoto klassisesta näkemyksestä, jonka mukaan talous on kehitykseltään vakaa, jos ei ilmene ulkopuolisia sokkeja. Perusmuotoinen RBC-malli perustuu solowilaiseen kasvuteoriaan, johon on vain lisätty teknologiasokit sekä syy, jolla perustellaan sokkien välittymistä. RBC-mallien tutkiminen on johtanut tärkeään tulokseen siitä, että suhdannevaihteluiden lähteiksi on löydetty muitakin tekijöitä kuin reaalitalouden sokit. Myös RBC-mallien sisäisiä sokkien välitysmekanismeja on kehitetty, sillä alkuperäisissä RBC-malleissa, joissa hinnat ovat joustavia, ovat välitysmekanismit melko heikkoja.

Uuskeynesiläisissä malleissa syklinen käyttäytyminen ajatellaan yleensä tehottomuusilmiönä, talouden ylikuumeneminen noususuhdanteessa ja resurssien alikäyttö laskusuhdanteessa. RBC-mallit olettavat, että syklit heijastavat toimijoiden optimointipäätöksiä, esimerkiksi työn tarjonnan lisääminen tai vähentäminen vastauksena teknologiasokkiin. Uuskeynesiläisillä malleilla voidaan analysoida kokonaiskysynnän vaihtelusta johtuvia pysyviä tasapainopoikkeamia ja tarjontapuolen sokkeja sekä yhdistää tuotannon ja työllisyyden tasapainokehityksen tekijöitä.

Rationaaliin odotuksiin sekä taloudenpitäjien optimointikäyttäytymiseen pohjautuvat dynaamiset stokastiset yleisen tasapainon mallit eli DSGE-mallit (dynamic stochastic general equilibrium) ovat viimeisten vuosikymmenten aikana yleistyneet makrotaloudellisen analyysin tuottajien keskuudessa. Kydlandin ja Prescottin (1982) tulos, jonka mukaan Yhdysvalloissa 70 % toisen maailmansodan jälkeisestä tuotannon lyhytaikaisesta vaihtelusta selittyy teknologian satunnaisella vaihtelulla, on ollut omiaan lisäämään niiden DSGE-mallien tutkimusta, joissa reaalitalouden sokit aiheuttavat suhdannevaihteluita. DSGE-mallien suosio on kasvanut myös ennustekäytössä, ja

useilla keskuspankeilla on nykyään sellainen ennustamisen apuvälineenä, esimerkiksi Suomen Pankin Aino-malli sekä Euroopan keskuspankin New Area Wide Model.

DSGE-mallit ovat mikrotalousteoriaan perustuvia malleja, joissa toimijoiden intertemporaalinen käyttäytyminen korostuu, kun nykyhetken valintojen vaikutus tulevaisuuteen tekee malleista dynaamisia. Koska nykyhetken valinnoilla on vaikutus lopputulokseen tulevaisuudessa, toimijoiden odotusten rooli malleissa korostuu. Stokastiset sokit aiheuttavat malleissa talouden suhdannevaihteluita. Osa sokeista on mitattavissa ja havaittavissa olevia, kuten veroasteen tai korkojen muutokset, mutta suurin osa niistä on havaitsemattomia, kuten preferenssisokit (Newby, Railavo ja Ripatti 2011). DSGE-malleille on tyypillistä, että sokeilla on sekä suoria että epäsuoria vaikutuksia reaaliuuttujiin tai suhteellisiin hintoihin.

DSGE-malli on yleensä suuri joukko kuluttajan ja yrityksen teoriasta johdettuja funktioita, joilla pyritään kattamaan kaikki markkinat. DSGE-mallin lineaarisuus mahdollistaa ennustamista helpottavien menetelmien käytön ja mallin parametrit voidaan estimoida esimerkiksi bayesilaisia menetelmiä käyttäen. Kun mallin rakenne on kiinnitetty ja sen parametrit tiedossa, on talouden häiriöt mahdollista laskea esimerkiksi Kalman-suotimen avulla. (Newby, Railavo ja Ripatti 2011.)

Nykyaikaisia DSGE-malleja on vahvistettu lisäämällä niihin rakenteita, jotka hidastavat talouden sopeutumista ulkoisiin sokkeihin. Tällaisia rakenteita ovat esimerkiksi reaaliset ja nimelliset palkka- ja hintajäykkyudet. Viime aikoina kehitystyö on suuntautunut kohti rahoitus- ja työmarkkinaepätäydellisyyksiä, ja lisäksi julkistaloudelliset kysymykset sekä varallisuuden hinnoittelu ovat olleet tutkijoiden kiinnostuksen kohteena. Näissä tutkimuksissa korkojen aikarakenteen käyttäytyminen suhdanteissa sekä osakemarkkinoiden ylituotot ovat olleet keskeisessä roolissa.

Uuskeynesiläisissä DSGE-malleissa oletus joustavista hinnoista on korvattu hintojen nimellisellä jäykkyydellä. Hintojen nimellistä jäykkyys pohjautuu oletukseen epätäydellisestä kilpailusta hyödykemarkkinoilla: yrityksellä on mahdollisuus muuttaa hintojaan ainoastaan satunnaisesti tai hinnan muuttamisesta koituu sopeutuskustannuksia. Kummassakin tapauksessa hinta määritetään vallitsevien sekä odotettujen tulevien rajakustannusten keskiarvona. Nimellispalkkajäykkyyksien mallintaminen on samankaltainen toimenpide kuin nimellishintajäykkyyskin: rajakustannukset korvataan vain kotitalouksien kulutuksen ja vapaa-ajan rajasubstituutiosuhteella. Kyseisistä DSGE-malleista, joissa on nimelliset hinta- ja palkkajäykkyudet, käytetään nimitystä uuskeynesiläiset DSGE-mallit. Malleissa reaaliset jäykkyudet koskevat yleensä esimerkiksi pääomakantaa tai

pääomakannan sopeutumista. Usein myös panosten kysyntään on lisätty jäykkyyttä sopeutumiskustannuksina ja kulutuksen hidas sopeutuminen on esitetty kulutustottumusten muodostumisena (habit formation).

Valtioiden kasvavat vaihtotaseiden alijäämät ovat viime aikoina lisänneet kiinnostusta uuden avotalouden makrotalousteoriaa (New Open Economy Macroeconomics), Obstfieldin ja Rogoffin (1995) 1990-luvulla aloittamaa työtä kohtaan. Uuden avotalouden makrotalousteoriassa ovat keskeisiksi kysymyksiksi nousseet suhdannevaihteluiden siirtyminen maiden välillä, poliittisten päätösten vaikutus toisiin valtioihin ja maailmantalouden tasapainoon sekä valuuttakurssien määräytyminen.

Tässä tutkimuksessa kootaan yhteen viimeaikaisen DSGE-malleja koskevan kirjallisuuden tuloksia, aloittaen mallien rakenteen tutkimisesta sekä mallien estimointimenetelmistä, jonka jälkeen siirrytään käsittelemään korkojen aikarakennetta DSGE-malleissa ja mallien soveltamista talouden ennustamisessa. Korkojen aikarakenteen käyttäytyminen on viimeaikaisissa tutkimuksissa noussut tutkijoiden suosioon. DSGE-mallien kehitystyötä on myös viety kohti rahoitusmarkkinoiden epätäydellisyyksien tarkempaa tutkimista. Koska korkojen aikarakenne on tärkeä tekijä niin rahoituksen kuin makrotaloudenkin kannalta, on tuottokäyrän muotoon vaikuttavilla sokeilla keskeinen asema modernien DSGE-mallien tutkimuksessa. Lisäksi korkojen aikarakenteen esiintyminen mallissa yleensä vahvistaa reaalityalouden muuttujien reagointia rahapolitiikan muutoksiin.

Tämän tutkimuksen tavoite on selvittää, minkälaisiin tuloksiin viimeaikainen DSGE-kirjallisuus on päätenyt mallien rakenteen sekä korkojen aikarakenteen osalta ja minkälaisia vaikutuksia eri sokeilla on korkojen aikarakenteeseen. Lisäksi tutkimuksessa esitetään DSGE-ennusteen toteuttaminen sekä tutkitaan mallien soveltuvuutta ennustekäyttöön, kun vertailukohteena ovat kirjallisuudessa yleisesti esiintyvät ennustemallit. Työssä esitettäviä kirjallisuuden tutkimustuloksia ei käydä yksityiskohtaisesti läpi, vaan niistä on pyritty esittämään keskeisimmät asiat, jotka monesti toistuvat eri tutkimusten välillä. Myöskään ennustamisessa käytettäviä niin sanottuja kilpailevia malleja ei käsitellä työssä yksityiskohtaisesti, vaan ainoastaan lopputuloksen osalta ennustuskykyä vertailtaessa.

Varsinaisiin DSGE-malleihin siirrytään luvussa 2, joka alkaa mallien rakenteen esittelyllä. Pääsääntöisesti DSGE-malleissa on kolme sektoria: kotitaloussektori, yrityssektori ja julkinen sektori, jotka esitellään alaluvussa 2.1.1. Kotitaloussektori määrää malleissa kuluttamisen tason,

yksityisten sijoitusten määrän sekä toimii työvoiman monopolistisena tarjoajana. Kotitaloudet maksimoivat siis hyötynsä tietyllä budjettirajoitteella. Yritykset toimivat työvoiman kysyjinä, eli palkkaavat työvoimaa, vuokraavat omistamaansa pääomaa sekä toimivat hyödykkeiden monopolistisina tarjoajina. Yritykset yleensä maksimoivat voittonsa nimellisen hintajäykkyyden rajoitteella. Julkinen sektori päättää malleissa verojen suuruudesta sekä julkisen velan tasosta määrittämällä velkakirjojen tarjonnan. Finanssipolitiikan voidaan nähdä siis asettuvan ricardolaiseen kehykseen. Rahapolitiikasta päättää keskuspankki asettaen rahamarkkinakoron, yleensä Taylorin säännön mukaisesti. Alaluku 2.1.2 selventää kokonaiskysynnän ja kokonaistarjonnan määräytymisen, kuten se on De Graeven, Emirisin ja Woutersin (2007) DSGE-mallissa esitetty. Alaluvussa 2.1.3 selvennetään mallien stokastisuutta eli mallien sokkiprosesseja. Luvussa käsitellään sokkeja yleisellä tasolla sekä sokkeja DSGE-malleissa mm. Suomen Pankin Aino-mallin esimerkin avulla.

Luku 2.2 käsittelee mallien estimointia kirjallisuudessa. Parametrien estimointi on kirjallisuudessa suoritettu joko kalibroimalla parametrien arvot tai määrittämällä ne ekonometrisen estimoinnin avulla. Jälkimmäinen on nykyään kirjallisuudessa vallalla oleva menetelmä, minkä vuoksi siihen paneudutaan tarkemmin. Alaluku 2.2.1 esittelee Bayesin teoreeman, joka on tärkeä ajattelumalli DSGE-kirjallisuudessa. Mikäli mallin muutos- ja mittausyhtälöt ovat lineaarisia ja sokit normaalisti jakautuneita voidaan mallin estimaatit tuottaa Kalman-suotimen (Kalman filter) avulla. Jos tila-avaruus-esitys ei ole lineaarinen tai, jos sokit eivät ole normaalisti jakautuneita, niin voidaan käyttää niin sanottua hiukkassuodinta (particle filter). Nämä menetelmät on esitetty alaluvussa 2.2.2. Viimeisessä alaluvussa 2.2.3 käsitellään kirjallisuudessa käytettyjä eri estimointimenetelmiä, niiden heikkouksia ja vahvuuksia.

Luvussa 3 käsitellään korkojen aikarakennetta DSGE-malleissa. Luku alkaa korkojen aikarakenteen määrittelyllä ja jatkuu tuotto- ja inflaatio-odotusten esittelyllä alaluvussa 3.1.1 ennen siirtymistä korkojen aikarakennetta selittävien teorioiden lyhyeen esittelyyn alaluvussa 3.1.2. Luvussa 3.2 käsitellään korkojen aikarakennetta DSGE-kirjallisuudessa. Korkojen dynamiikan esittäminen, siinä onnistuminen historiallisen aineiston valossa sekä aikarakenteen sopivuus teoreettiseen kehikkoon, pääasiallisesti odotushypoteesiin, ovat luvussa 3.2.1 käsiteltyjä asioita. Luvun 3 viimeinen alaluku 3.2.2 käsittelee sokkien vaikutusta korkojen aikarakenteeseen sekä makrotalouteen viimeisimmässä DSGE-kirjallisuudessa.

DSGE-malleja käytetään hyvin yleisesti ennusteiden luomiseen tai kokoamiseen keskuspankeissa sekä taloudellisissa tutkimuslaitoksissa. Tästä johtuen luvussa 4 paneudutaan DSGE-mallien

käyttöön talouden ennustamisessa. Alaluku 4.1.1 käsittelee varsinaista ennusteen luomista teknisessä ja laskennallisessa mielessä, kuten se on alan viimeisimmässä kirjallisuudessa toteutettu. Luku 4.1.2 vertailee DSGE-mallien ja kilpailevien mallien suoriutumista ennustamisessa.

Luvussa 4.2 tarkastellaan DSGE-mallien kohtaamaa kritiikkiä kirjallisuudessa. Koska suuri osa mallien kohtaamasta kritiikistä on kritiikkiä koko modernia makrotalousteoriaa kohtaan, on luku jaettu kahteen osaan. Ensimmäisessä alaluvussa 4.2.1 käsitellään makrotalousteorian kohtaamaa kritiikkiä, joka on suurelta osin noussut esiin makrotaloudellisten mallien epäonnistumisesta 2007 alkaneen finanssikriisin ennustamisessa. Toinen alaluku eli luku 4.2.2 käsittelee suoraan DSGE-malleihin kohdistunutta kritiikkiä ja mallien kohtaamia haasteita.

2. Dynaamiset stokastiset yleisen tasapainon (DSGE) mallit

2.1 DSGE-mallien rakenne

2.1.1 Talouden sektorit

DSGE-mallit nojaavat oletuksiltaan talousteorian käyttäytymismalleihin sekä optimointiteoriaan. Tyypillisesti malli on suuri joukko kuluttajan ja yrityksen teoriasta johdettuja funktioita, joilla pyritään kattamaan kaikki markkinat ja talouden sektorit. Malleissa kotitaloudet kuluttavat, päättävät sijoittamisen määrästä ja ovat differentoituvan työvoiman monopolistisia tarjoajia, ja määrittävät näin ollen palkkatason. Yritykset palkkaavat työvoimaa, vuokraavat pääomaa ja toimivat differentoituvien hyödykkeiden monopolistisina tarjoajina, mikä sallii niiden asettaa hinnat. Sekä kotitaloudet että yritykset kohtaavat suuren määrän nimellistä jäykkyyttä (palkoissa ja hinnoissa), mikä rajoittaa niiden mahdollisuutta määrittää hintoja ja palkkoja uudelleen.

Reaalisella puolella pääoma kasautuu endogeenisellä tavalla ja investointien sopeuttamiskustannuksista, muuttuvista pääoman käyttökustannuksista tai kiinteistä kustannuksista koituu reaalisia jäykkyyksiä. Kotitalouksien preferenssit paljastavat kulutustottumukset, ja hyötyfunktio on yleensä separoituva kulutuksen, vapaa-ajan ja reaalisten rahabalanssien suhteen. Finanssipolitiikka on monesti rajoitettu ricardolaiseen kehykseen, kun taas rahapolitiikka johdetaan Taylorin säännöstä.

DSGE-mallit perustuvat kuluttajan ja yrityksen teoriasta johdettuihin käyttäytymissäntöihin, joilla pyritään kattamaan kaikki talouden markkinat. Kuluttajat tai kotitaloudet, kuten ne malleissa yleensä kuvataan, ovat hyödyn maksimoijia, jotka tekevät optimaalisia kulutus- ja sijoituspäätöksiä. Emiris (2006) sekä Smets ja Wouters (2004) esittävät, että kotitaloudet maksimoivat (ei-separoituvan) hyötyfunktionsa kulutuksen ja työvoimaponnistelujensa suhteen yli äärettömän elinkaaren. Kulutus esiintyy hyötyfunktiossa suhteessa ajallisesti muuttuvaan ulkoiseen tottumusmuuttajaan, joka riippuu menneestä kokonaiskulutuksesta. Kulutustottumusten sisällyttäminen malleihin onkin varsin yleistä mallinnettaessa kotitalouksia ja niiden muutoksilla on vaikutus kysynnän rakenteeseen.

Kotitalous voi kuluttaa tai pitää hallussaan varallisuutta ainoastaan määrän, jonka täytyy olla vähemmän tai yhtä suuri kuin summa sen palkasta, yritysten osakkeiden omistamisesta koituvista voitoista sekä valtion ehdollisten omaisuuserien tuloista. Amisano ja Tristani (2009) olettavat kotitalouksille Epstein-Zin-Weil-preferenssit, kuten Andreasenkin (2011a ja 2011b). Näiden preferenssien tapauksessa he määrittävät hyötyfunktion

$$U[C_t, (E_t V_{t+1}^{1-\gamma})] = \left\{ (1 - \beta) C_t^{1-\sigma} + \beta (E_t V_{t+1}^{1-\gamma})^{\frac{1-\sigma}{1-\gamma}} \right\}^{\frac{1}{1-\sigma}}, \quad (1)$$

jossa C_t on kulutusindeksi, E_t kuvastaa ehdollisia odotuksia annetulla informaatiolla hetkellä t ja $\sigma, \gamma \neq 1$. $V_{t+1}^{1-\gamma}$ on arvofunkti, missä parametri γ kuvastaa uhkapelin relatiivista riskiaversiokerrointa. β on subjektiivinen diskonttoteijä ja $1/\sigma$ mittaa determinististen kulutusurien intertemporaalista eli ajan hetkien välistä substituutiojousto. Parametrit γ , β ja σ ovat positiivisia vakioita. Epstein-Zin-Weil-preferensseille tunnusomainen piirre verrattuna perinteiseen hyödyn määrittelemiseen on se, että relatiivisen riskiaversion kerroin voi vaihdella intertemporaalisen substituutiojouston vastaluvusta. Mikä tahansa riskin lähde heijastuu arvopaperien hintoihin. Ei ainoastaan silloin, jos se tekee kulutuksen vaihtelevammaksi, vaan myös, jos se vaikuttaa kulutuksen volatilitettiin ajalliseen jakaumaan. (Amisano ja Tristani 2009.)

Työn tarjoajien monopolivoima työmarkkinoilla tuottaa eksplisiittisen palkkayhtälön ja sallii nimellispalkkojen jäykkyyden. Kotitaloudet vuokraavat pääomapalveluita yrityksille ja päättävät, kuinka paljon pääomaa kasaantuu annetuilla pääomavarannon sopeuttamiskustannuksilla. Kun pääoman vuokraushinta muuttuu, voidaan pääomavarantoa käyttää enemmän tai vähemmän intensiivisesti. Tämä seuraa pääoman käytön muuttumisesta. Tasapainossa kotitaloudet tekevät

samat valinnat kulutuksen, työtuntien velkakirjojen, investointien sekä pääoman käytön suhteen. (Smets & Wouters, 2004.)

Amissano ja Tristani (2009) olettavat, että kotitaloudet toimittavat yrityksille erilaisia työvoimapalveluja vastineeksi työtulosta. Jokainen kotitalous omistaa yhtä suuren osuuden kaikista yrityksistä ja saa voittoa. Työmarkkinoilla toimivat myös työvoimatoimistot, jotka yhdistävät kotitalouksien työtunnit samassa suhteessa kuin minkä yritykset valitsisivat. Jokainen kotitalous maksimoi intertemporaalisen hyötynsä suhteessa kulutukseen, palkka-asteeseen sekä satunnaisiin vaateisiin, suhteessa työvoiman kysyntäfunktioon ja budjettirajoitteeseen.

Myös viimeisimmissä tutkimuksissa kotitaloudet ovat mallinnettu varsin samanlaisin oletuksin ja käyttäytymissäännöin. Esimerkiksi Marsal (2011) määrittelee edustavan kotitalouden, joka maksimoi hyötynsä budjettirajoitteella. Kotitaloudet omistavat rahoitusvaateita, jotka tuottavat voittoa riskittömällä tuottoasteella. Kotitaloudet omistavat myös yritykset, joten tuotot yritysten omistamisesta ovat kotitalouksien resursseja. Koska mallit, joita tarkastelen, ovat niin sanottuja uuskeynesiläisiä malleja, ovat hinnat ja palkat oletettu jäykiksi. Kotitalouksien oletetaan maksimoivan intertemporaalisen hyötynsä yli äärettömän pitkän eliniän, ja niiden kuluttamista ohjailevat kulutustottumukset. Tottumukset mallissa voivat tuottaa mittavan aikarakenteen, tosin joidenkin tutkimusten mukaan tämä voidaan saavuttaa myös sisällyttämällä malliin Epstein-Zin-Weil-preferenssit, kuten Andreasen (2011b) sekä Amissano ja Tristani (2009). Kulutustottumusten tarpeellisuus malleissa Epstein-Zin-Weil-preferenssien tapauksessa on vielä alan kirjallisuudessa tutkimatta.

Monessa tapauksessa malliin esitetään myös pääoman sopeuttamiskustannukset tuottamaan vaihteluita pääoman tuottoasteeseen, jolloin siitä saadaan yhteneväisempi empirian kanssa. Tällaiset sopeuttamiskustannukset pääomalle ovat esittäneet ainakin Zagaglia (2009) ja Andreasen (2011b).

Zagaglian (2009) mallissa kotitalouksien hyöty koostuu erilaisten hyödykkeiden kuluttamisesta, jotka ovat riippuvaisia tottumusten tasosta. Tottumusten taso on endogeenisesti määräytynyt reaalisesta rahan hallussa pitämisestä sekä haitasta, jota työn tekemisestä koetaan syntyvän. Zagaglia (2009) esittää kotitalouksien varallisuuden jakautuvan: rahan hallussa pitämiseen, reaalisesta pääoman kasaantumiseen (joka vuokrataan yrityksille) sekä kolmen tyyppiin velkakirjoihin.

Pääomavarannon muutosta kuvaa

$$k_{t-1} = \epsilon_t^i (1 - AC_t^i) i_t + (1 - \delta) k_t. \quad (2)$$

Kaavassa 2 parametri δ on pääomavarannon arvonalennusaste, toisin sanoen poistot, ja ϵ_t^i on sokki, joka riippuu investointihyödykkeistä. Muuttuja k_t on reaalisen pääoman taso ja i_t investointien taso. Pääoman sopeuttamiskustannukset ovat

$$AC_t^i = \frac{\phi K}{2} \left(\frac{i_t}{i_{t-1}} \right)^2. \quad (3)$$

Zagaglia (2009) mallintaa myös kotitalouksien portfolion, joka riippuu riskin ja tuoton suhteesta sekä tähän suhteeseen liittyvistä tulevista odotuksista. Varmistaakseen, että jokaisen velkakirjan kysyntä eroaa nollassa, hän olettaa, että velkakirjojen vaihto on maksullista kaikille toimijoille ja velkakirjojen sopeuttamiskustannukset ovat neliöiset.

Koska lyhytaikaiset velkakirjat ovat rahamarkkinainstrumentteja, ne ovat täydellisiä substituuotteja rahalle. Tämä ei päde muiden kuin lyhytaikaisten velkakirjojen tapauksessa. Mitä suurempi on pitkien korkojen ja rahan välinen korvaussuhde, sitä enemmän kotitaloudet ovat halukkaita uudelleen allokoimaan resursseja rahaksi. Rahalla ja velkakirjoilla ei ole transaktiokustannuksia steady-state-tilassa, vaan ne ilmenevät ainoastaan siirryttäessä kohti pitkän tähtäyksen tasapainoa. Näin ollen ainoastaan velkakirjojen sopeuttamiskustannukset ilmenevät steady-state-tilassa, ja ne ovat sen vuoksi syynä tuottoasteiden eroihin pitkällä aikavälillä. (Zagaglia 2009.)

Andreasen (2011b) olettaa edustavan kotitalouden mallintaen sen käyttäytymistä niin ikään Epstein-Zin-Weil-preferensseillä, kuten Amisano ja Tristani (2009), sekä määrittää edustavalle kotitaloudelle arvofunktion. Andreasen (2011) sisällyttää malliinsa myös hyötyindeksin preferenssisokit, samalla tavalla kuin esimerkiksi Smets ja Wouters (2007).

Innovaatiot Andreasen (2011b) olettaa riippumattomiksi ja normaalisti jakautuneiksi. Kulutushyödyke johdetaan differentoituvien hyödykkeiden jatkumosta, eli yhtenäisestä äärettömästä joukosta, sekä niin sanotusta kokoomafunktiosta, mihin on mallinnettu hyödykkeiden intertemporaalinen substituuutiojousto. Hyödykkeen kysyntä saadaan ratkaisemalla minimointiongelman, josta tuloksena saadaan kysyntäfunktio. Kotitalouksien Andreasen (2011b) olettaa valitsevan kulutuksen tasonsa suhteessa tottumuksiin, jotka esiintyvät mallissa varantosuureena.

De Graeve, Emiris ja Wouters (2007) esittävät välitason hyödykkeen tuottajan i tuotantofunktion Cobb-Douglas muodossa

$$Y_t(i) = \varepsilon_t^\alpha K_t^s(i)^\alpha [\gamma^t L_t(i)]^{1-\alpha} - \gamma^t \Phi. \quad (4)$$

Yhtälössä $K_t^s(i)$ kuvaa pääoman määrää, mikä käytetään tuotantoon, $L_t(i)$ työpanosyhdistelmää ja Φ tuotannon kiinteitä kustannuksia. γ^t on työvoimaa kasvattava deterministinen kasvuaste taloudessa ja ε_t^α on kokonaistuottavuuskerroin.

Smetsin ja Woutersin (2004) tutkimuksessa yritykset tuottavat differentoituvia hyödykkeitä, päättävät työvoima- ja pääomapanosten määristä sekä asettavat hinnat niin sanotun Calvo-mallin mukaan. Calvo-mallissa sekä palkat että hinnat ovat kasvavia. Tämä perustuu oletukseen, että hinnat, joita ei optimoida uudelleen, ovat osittain indeksoitu menneisiin inflaatioasteisiin sekä keskuspankin inflaatiotavoitteeseen. Hinnat ovat siten asetettu nykyisen ja odotetun rajakustannuksen funktioon, mutta määräytyvät myös menneen inflaatiotason mukaan. Tuotannon rajakustannus riippuu palkoista sekä asteesta, jolla pääoma vuokrataan. Samalla tavalla palkat riippuvat Smetsin ja Woutersin (2004) mallissa menneistä ja tulevaisuuden odotetuista palkoista.

Marsalin (2011) työssä pyritään mallintamaan korkojen aikarakennetta pienessä avoimessa taloudessa. Tekijä olettaa, että markkinasegmentaatiota eikä minkäänlaisia esteitä vaihdolle esiinny, minkä takia yhden hinnan laki (law of one price) pätee. Yhden hinnan laki ei kuitenkaan päde aggregaattitasolla mallissa, joten talous mallinnetaan ostovoimapariteetin vaihteluna. Marsal (2011) olettaa hyödykkeet epätäydellisiksi substituuteiksi. Yritys hallitsee hinnan asettamisen, mutta se kohtaa mallissa kuitenkin neliöiset sopeuttamiskustannukset uudelleen hinnoittellessaan hyödykkeitä. Lisäksi kaikilla yrityksillä on samat rajakustannukset.

Phillipsin-käyrällä Marsal (2011) ilmentää vakioista korotusta hinnoissa, mikä johtuu monopolistisesta kilpailusta markkinoilla. Yritys voi valita hinnan, joka ylittää sen rajakustannukset. Kuitenkin neliöisten sopeuttamiskustannusten takia hinnan asettaminen poikkeaa hintajäykkyyttä vailla olevasta monopolistisesta kilpailusta. Yritykset eivät ole halukkaita tekemään merkittäviä hintamuutoksia, koska se on kallista. Phillips-käyrän yhtälössä Marsal (2011) esittää myös sen hinnan asettamisen osuuden, joka huomioi tulevan kehityksen. Jos yritys odottaa suuria hinnan muutoksia tulevaisuudessa, se pyrkii muuttamaan hintaa enemmän jo nykyhetkessä, eli yritys asettaa korkeamman hinnan suojautuakseen tulevaisuuden hinnan muutoksilta. Tällaisten sopeuttamiskustannusten etuna verrattuna Calvo-hintoihin on se, että yritysten ei tarvitse odottaa muuttaakseen hintojansa, kun hintajäykkyys on suurta.

Andreasenin (2011b) mallissa tuotanto koituu yritysten jatkumon kannettavaksi. Kuten monet muutkin, niin myös Andreasen (2011b) esittää, että jokainen yritys tarjoaa monopolistisesti kilpailuille markkinoille differentoituvan tuotteen. Markkinoille ei voi tulla lisää yrityksiä, eikä sieltä voi poistua yrityksiä, ja kaikilla yrityksillä on käytettävänä sama tuotantoteknologia.

Andreasenin (2011b) tuotantofunktiossa on huomioitu teknologinen edistys. Yhdessä teknologiasokkeja kuvaavan muuttujan kanssa se aiheuttaa yritykselle kasvavat kiinteät kustannukset, jos sokkien muutokset ovat positiivisia. Vastaavasti kiinteät kustannukset vähenevät, kun sokit ovat negatiivisia. Tämän taustalla on ajatus siitä, että nämä kustannukset ovat kuluja, jotka joudutaan maksamaan pysyvästi parantuneesta teknologiasta. Andreasenin mallissa reaaliset tarjontasokit on esitetty antamalla yritysten kiinteiden tuotantokustannusten vaihdella ajassa yli teknologisen edistyksen vaihtelun. Näiden reaalisten tarjontasokkien taustalla voi olla vaihtelu yrityksen kiinteissä tuotantokustannuksissa, mikä johtuu esimerkiksi öljyn hinnan, kunnossapitokustannusten tai esimerkiksi yrityksen maksamien tuotantopalkkioiden vaihtelusta. Kiinteiden tuotantokustannusten vaihtelun taustasyitä ei ole kuitenkaan tarkemmin määritelty tai mallinnettu. Teknologiasokkien vaihtelu havainnollistaa siis väliaikaisia muutoksia yrityksen kiinteissä kustannuksissa, kun taas teknologisen edistyksen vaihtelu kuvaa pitkäaikaisia vaihteluita. (Andreasen 2011b.)

Andreasenin (2011) mallissa yritysten oletetaan myös maksimoivan nimellisten osinkojensa arvon. Osinkojen maksimoinnilla on kolme rajoitetta. Ensimmäinen liittyy i :n yrityksen tuottamaan hyödykkeeseen. Taustalla on oletus, että investointien aggregoitu funktio yhtyy kulutuksen aggregoituun funktioon. Toinen rajoite on budjettirajoite, ja kolmas rajoite esittää jäykät Calvo-hinnat. Jokaisella periodilla osa satunnaisesti valituista yrityksistä ei voi asettaa optimaalista hintaa hyödykkeelle, jota ne tuottavat. Sen sijaan nämä yritykset asettavat hinnat vastaamaan edellisen periodin hintoja. (Andreasen 2011b.)

Zagaglia (2009) mallintaa hyödykkeiden tuottamisen Cobb-Douglas-tuotantofunktiolla, pääoma- ja työpanoksen suhteena. Tuotantofunktioon on sisällytetty kiinteät kustannukset sekä teknologiaprosessi, joka sisältää sokin. Yritykset asettavat hinnat maksimoidakseen tulevaisuuden tuottovirran suhteessa neliöisiin hinnan sopeutuskustannuksiin. Sopeutuskustannukset on esitetty niin, että hinnan muutoksista koituu kustannuksia, kun ne vaihtelevat steady-state-inflaation painotetun keskiarvon ja edellisen periodin inflaation välillä. Jokainen yritys valitsee tuotannon panokset niin, että ne maksimoivat voiton tuotantofunktiossa. Ensimmäisen asteen ehdoissa esiintyy

mm. tuotannon kysyntäjousto, joka mittaa bruttomääräistä hinnan korotusta yli rajakustannusten. Ilman hinnan sopeutuskustannuksia tämä hinnan korotus olisi vakio. (Zagaglia 2009.)

Amisanon ja Tristanin (2009) mallinnuksessa kysyntä koostuu kotitalouksien kulutuksesta ja julkisista ostoista, jotka ovat koostettu differentoituvista hyödykkeistä, kuten kotitalouksien kulutuksesta. Tekijät olettavat yritysten kohtaavan neliöiset kustannukset hintojen sopeuttamisesta, eli muuttaessaan hintoja periodilla t verrattuna periodiin $t - 1$. Kuten tyypillisesti Calvo-hinnoittelussa, Amisano ja Tristani (2009) tekevät niin sanotun hintojen osittaisindeksoinnin viivästettyyn inflaatioon ja voivat mallintaa yrityksen reaaliset tuotot, jotka riippuvat kokonaiskysynnästä ja yrityksen tuotantofunktiosta.

De Graeven, Emirisin ja Woutersin (2007) työssä keskuspankki seuraa nimellisen koron sääntöä sopeuttamalla sen instrumentin vastauksena inflaation ja tuotannon vaihteluun tavoitetasostaan. Julkinen kulutus on eksogeenista ja ilmaistu suhteessa steady-state-tuotantouraan. Amisanon ja Tristanin (2009) työssä markkinoiden puhdistuminen edellyttää, että

$$Y_t = C_t + G_t . \quad (5)$$

Kokonaistuotanto on siis yhtä suuri kuin kotitalouksien kulutuksen ja julkisen kulutuksen (valtion ostojen) summa.

Marzon, Söderströmin ja Zagaglian (2008) tutkimuksessa julkinen sektori määrittää verojen tason ja velkakirjojen tarjonnan, kun taas keskuspankki määrittää rahamarkkinoiden korkotason. Tutkijat olettavat, että lyhyen, keskipitkän ja pitkän aikavälin velkakirjojen reaalin tarjonta noudattaa eksogeenista prosessia. Välttääkseen inflaation muodostumisen fiskaalisena ilmiönä he olettavat finanssipolitiikan palautesäännön niin, että verojen keräämisen kokonaismäärä on funktio valtion maksamattomien sitoumusten kokonaismäärästä. Finanssipolitiikan he määrittelevät passiiviseksi, ja sen itsenäinen toimiminen on estetty. Verot on asetettu välttämään julkisen sektorin liikaa velkaantumista. Julkisen kulutuksen oletetaan noudattavan eksogeenista autoregressiivistä prosessia (Marzo, Söderström ja Zagaglia 2008). Autoregressiivisessä prosessissa informaation muodostaa edellisen ajankohdan havainto, joka tietyllä kertoimella vaikuttaa seuraavaan.

Keskuspankin oletetaan asettavan rahamarkkinakoron Taylorin säännön mukaan, jossa nimelliskorko riippuu tavoitekorosta, inflaation poikkeamasta tavoiteinflaatiosta sekä tuotantokuilusta. Mallissa rahamarkkinakorko on määritetty asteittain sopeutettuna inflaation ja

tuotannon hajontana steady-state-tilasta. Tekijät sisällyttävät malliinsa myös eksogeenisen, normaalisti jakautuneen rahapolitiikkasokin. (Marzo, Söderström ja Zagaglia 2008.)

Smetsin ja Woutersin (2004) malli suljetaan niin ikään Taylorin säännöllä, missä korko on asetettu inflaation vaihtelun funktioon ajan suhteen vaihtelevasta inflaatiosta ja teoreettisesti yhteneväisestä tuotantokuilusta. Marsal (2011) mallintaa rahapolitiikan päättäjän seuraamaan korkosääntöä niin, että nimellinen korkotaso on määritetty menneistä koroista ja se vastaa vallitsevaa kuluttajahintaindeksin mukaista inflaatiotasoa. Amisano ja Tristani (2009) käyttävät myös Taylorin sääntöä rahapolitiikan määrittämiseen. He ylläpitävät kiinnitettyjä Taylorin sääntöparametreja, mutta sallivat mahdollisuuden inflaatiotavoitteen muutoksen.

Andreasen (2011b) antaa keskuspankin määrittää jatkuvasti lasketun yhden periodin nimellisen koron. Keskuspankki tähtää inflaatiokuilun ja tuotantokuilun tasoittamiseen. Tuotantokuilu määritellään tuotannon vaihteluna sen tasapainotetusta kasvu-urasta. Keskuspankin toimet annettua inflaatiokuilua kohtaan voivat vaihdella yli ajan. Keskuspankin reagointi inflaatiokuiluun voi vaihdella eri periodeina. Rationaalisten odotusten oletus mallissa kertoo siitä, että kotitaloudet ja yritykset ovat tietoisia rahapolitiikan mahdollisista muutoksista ja ottavat sen huomioon tehdessään päätöksiä. Rahapolitiikka on määritelty keskuspankin inflaatiokuiluun ja inflaatiotavoitteesen reagoimisen vaihteluna. (Andreasen 2011b.)

Christianon, Trabandtin ja Walentinin (2010) mukaan yksinkertaista uuskeynesiläistä mallia voidaan käyttää selittämään laajasti levinyttä konsensusta siitä, että ”sopiva” rahapolitiikka on Taylorin periaatteen mukaista rahapolitiikkaa: 1 %:n nousuun inflaatiossa tulisi vastata yli 1 %:n nimellisen korkotason kasvulla. Kuitenkin, jos siihen liitetään oletus käyttöpääomakanavasta, erityisesti silloin, kun materiaalien osuus bruttotuotannosta on yhtä suuri kuin se on aineistossa, Taylorin periaatteesta tulee epätasapainon lähde. Jos käyttöpääomakanava on vahva ja politiikan säätäjä nostaa korkoja vastauksena korkeisiin inflaatio-odotuksiin, niin nousevat kustannukset tuottavat korkeamman inflaation kuin on oletettu. (Christiano, Trabandt ja Walentin 2010.)

Taylorin periaatteen mukaan, uuskeynesiläinen ajattelutapa merkitsee, että nousu inflaatio-odotuksissa laukaisee sarjan tapahtumia, jotka lopulta johtavat todellisen inflaation lieventymiseen. Nähdessään tämän lieventymisen todellisessa inflaatiossa, toimijoiden korkeammat inflaatio-odotukset haihtuvat ennen kuin heistä tulee osa talouden epävakautta. Tämä toimii reaalisten korkojen nousun kautta, hidastaen kulutusta ja aiheuttaen tuotantokuilun pienenemisen. Todellisen inflaation väheneminen tapahtuu, kun tuotannon laskeminen vähentää painetta resursseissa ja ajaa

tuotannon rajakustannuksia alas. Rationaalisten odotusten tapauksessa inflaatio-odotukset eivät olisi nousseet, jos politiikka olisi noudattanut Taylorin periaatetta. Samantapainen argumentti osoittaa, että jos rahapolitiikan päätöksentekijä ei noudata Taylorin periaatetta $r_\pi < 1$, niin inflaatio-odotusten nousu voi olla itseään ruokkiva. Perinteistä uuskeynesiläistä mallia on käytetty ilmentämään ajatusta siitä, että Taylorin periaate edistää vakautta. Sen sijaan Taylorin periaatteen puuttuminen altistaa talouden odotusten vaihtelun vaikutuksille. (Christiano, Trabandt ja Walentin 2010.)

2.1.2 Kokonaiskysyntä ja -tarjonta

De Graeven, Emirisin ja Woutersin (2007) mukaan mallista voidaan poistaa trendi ja nimelliset muuttujat voidaan korvata niiden reaalisilla vastineilla. Näin ei-lineaarinen systeemi saadaan linearisoitua muuttujien suhteen, joista on poistettu trendi muuttumattoman steady-state-tilan ympärillä. (De Graeve, Emiris ja Wouters 2007.)

Kokonaisresurssirajoite selittää tuotannon määrän summana kulutuksesta, investoinneista, eksogeenisestä kulutuksesta sekä pääoman käyttöasteesta.

$$\hat{y}_t = \hat{\varepsilon}_t^g + \frac{c_*}{y_*} \hat{c}_t + \frac{i_*}{y_*} \hat{i}_t + \frac{r_*^k k_*}{y_*} \hat{z}_t. \quad (6)$$

Tähdillä merkatut muuttujat yhtälössä merkitsevät steady-state-arvoja ja $r_*^k k_*$ pääoman tuottoasteen ja pääomavarannon tuloa. Eksogeeninen kulutus seuraa ensimmäisen asteen autoregressiivistä (AR(1)) prosessia ja sen estimaatiossa eksogeeninen kulutus sisältää myös nettoviennin, mihin voi vaikuttaa kotimaisen tuotannon kehitys. Kulutuksen dynamiikka noudattaa kulutuksen Euler-yhtälöä, missä nykyinen kulutus riippuu menneen ja odotetun tulevan kulutuksen painotetusta keskiarvosta, odotetuista työtuntien kasvusta, menneestä reaalisesta korkotasosta sekä häiriötermistä, joka noudattaa AR(1)-prosessia. Investointien dynamiikkaa kuvaa investointien Euler-yhtälö, joka koostuu edellisen periodin korosta, diskontatusta seuraavan periodin korosta, pääoman sopeutuskustannusfunktion steady-state-jousta, olemassa olevan pääomavarannon reaaliarvosta sekä häiriötermistä. (De Graeve, Emiris ja Wouters 2007.)

Tarjontapuolella kokonaistuotantofunktio on

$$\hat{y}_t = \Phi(\alpha \hat{k}_t^s + (1 - \alpha)\hat{L}_t + \hat{\varepsilon}_t^a). \quad (7)$$

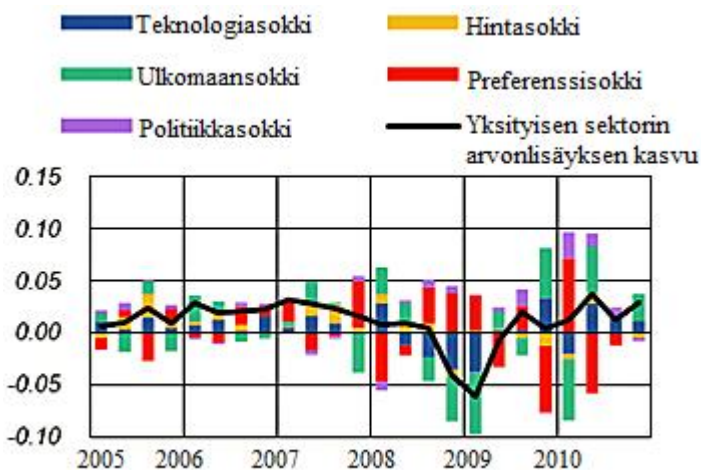
Tuotanto syntyy käyttäen pääoma- sekä työpanoksia. Lisäksi yhtälössä on kokonaistuottavuus, jonka oletetaan seuraavan AR(1)-prosessia. Parametri α on pääoman osuus tuotannossa ja parametri Φ on yksi plus osuus kiinteistä kustannuksista tuotannossa, ilmentäen kiinteiden kustannusten esiintymistä tuotannossa. Uuden pääoman oletetaan vaikuttavan yhden neljänneksen viiveellä tuotantoon eli pääomapanos koostuu edellisen periodin aikana tulleesta pääomasta sekä pääoman käyttöasteesta. Pääoman käyttöaste on positiivinen funktio pääoman tuottoasteesta. Reaalipalkka on funktio odotetuista ja menneistä reaalipalkoista, odotetusta, nykyisestä ja menneestä inflaatiosta, inflaatiotavoitteesta, palkkojen korotuksesta sekä palkkojen korotuksen häiriötermistä. Lopuksi De Graeven, Emirisin ja Woutersin malli suljetaan käyttämällä empiiristä rahapolitiikkafunktiota, missä rahapolitiikan päättäjät seuraavat Taylorin sääntöä, sopeuttaen korkoa vastaamaan inflaatiota ja tuotantokuilua. (De Graeve, Emiris ja Wouters 2007.)

2.1.3 Sokkiprosessit

Sokki on eksogeeninen tapahtuma, joka luo merkittävän ennakoimattoman muutoksen vallitsevaan talouden tilaan. Talouden sokit voivat aiheuttaa muutoksia kokonaiskysynnässä sekä kokonaistarjonnassa ja ennustamattomasta luonteestaan johtuen ne tuottavat vaihtelua talouden kasvuasteeseen. Sokkien pitkän aikavälin vaikutusten suhteen on kuitenkin epäilyksiä ja julkisen vallan puuttumisen aiheellisuudesta sokkien tapauksessa ei ole yksimielisyyttä.

Sokit jaetaan yleisesti kysyntäpuolen sokkeihin ja tarjontapuolen sokkeihin. Kysyntäpuolen sokit aiheuttavat yllättävän nousun tai laskun tavaroiden tai palveluiden kysynnässä. Ne voivat olla seurausta kotimaisen kysynnän tai ulkomaisen kysynnän muutoksista, esimerkiksi taantuma toisessa valtiossa voi aiheuttaa vientikysynnän äkillisen hidastumisen. Tarjontapuolen sokit aiheuttavat syklistä epätasapainoa lyhyellä aikavälillä. Pitkällä aikavälillä niillä ei ole nähty olevan niin suurta vaikutusta talouden tuotantopotentiaaliin. Tyypillinen esimerkki tarjontasokista on öljyn hintasokki, joka esimerkiksi 1970-luvulla aiheutti nousun lukuisten yritysten muuttuvissa kustannuksissa ympäri maailman. Tämän vuoksi siitä puhutaan monesti myös inflaatiiosokin nimellä.

Suomen Pankin Aino-mallissa esiintyvät sokkiprosessit on jaoteltu viiteen luokkaan. Teknologiasokit sisältävät sokit, jotka vaikuttavat tekniseen kehitykseen ja sitä kautta myös tuottavuuteen. Hintasokit vaikuttavat esimerkiksi pääoma- ja kulutushyödykkeiden hintamarginaaleihin tai palkkamarginaaleihin. Ulkomaansokit ovat eksogeenisesti Suomeen ulkomailta leviävät sokit, kuten esimerkiksi öljyn hintasokki tai vientimarkkinoiden hintasokki. Poliitikkasokkien ryhmään luokitellaan esimerkiksi korkomuutokset ja kulutukseen ja verotukseen vaikuttavat sokit. Preferenssisokkeja ovat kuluttajien preferenssisokki ja yritysten tuotannontekijöiden käyttöön vaikuttavat preferenssisokit. (Newby, Railavo ja Ripatti 2011.)



Kuva 1. Yksityisen sektorin arvonlisäyksen kasvun sokkikontribuutiohajotelma. (Newby, Railavo ja Ripatti 2011)

Kuvassa 1 on kuvattuna Aino-mallilla tuotettu sokkikontribuutiohajotelma, joka havainnollistaa kunkin sokin vaikutusta havaittuun muuttajaan. Kuvassa tuotannon muutos sekä muutoksen aiheuttaneet sokit on esitetty neljännesvuosittain.

Alan kirjallisuudessa on syntynyt keskustelua sokkien rakenteellisesta luonteesta. Kirjallisuudessa (de Antonio Liedo 2011) on esitetty, että estimoitu palkankorotussokki (wage mark-up shock), joka vaikuttaa ammattiliittojen neuvotteluvoimaan monopolistisilla työmarkkinoilla, on liian suuri omataksen uskottavan rakenteellisen tulkinnan. de Antonio Liedon (2011) mukaan tutkimuksissa on myös havaittu, että kyseiset sokit sisältävät mittavirheitä. Palkankorotussokin ilmetessä hyvinvoinnin maksimoiva rahapolitiikka, jossa sitoudutaan palkkainflaation tasapainottamiseen, aiheuttaisi uskomattoman suuren vaihtelun tuotannossa.

Smetsin ja Woutersin alun perin esittämä malli tuottaa de Antonio Liedon (2011) tulosten mukaan erittäin volatiilisen tuotantokuilun. Kun de Antonio Liedo huomioi mittausvirheet, pysyvyys

estimoidussa palkankorotussokissa tuottaa tasaisemman tuotantokuilun. de Antonio Liedon (2011) lähestymistapa mahdollistaa tekijän mukaan paremman vastaavuuden aineistoon ja johtopäätös on, että markkinoiden epätäydellisyydet näyttelevät todennäköisesti vaatimatonta roolia suhdannevaihteluiden lähteenä.

2.2 DSGE-mallien estimointi

2.2.1 Bayesin teoreema

Todennäköisyys on DSGE-malleissa koettu haasteellisenä tekijänä (Fernandez-Villaverde 2009), johtuen mallien parametrien suuresta määrästä, joita voi olla kymmenistä satoihin. DSGE-mallien todennäköisyyksien lokaalit maksimi- ja minimiarvot johtuvat harvasta aineistosta sekä DSGE-mallien joustavuudesta luoda samanlaista käyttäytymistä erilaisilla parametriyhdistelmillä. Dynaamisten mallien maksimointi aiheuttaa ongelmia jopa kaikkein hienoimmillekin maksimointialgoritmeille. Lisäksi estimaattien keskivirheet ovat laskemisen kannalta haasteellisia ja niiden asymptoottinen jakauma huono approksimaatio jos jakauman koko on pieni (Fernandez-Villaverde 2009).

Bayesilaisilla menetelmillä on lukuisia hyviä ominaisuuksia, minkä vuoksi niitä käytetäänkin paljon DSGE-mallien parametrien estimoinnissa. Bayesilainen ajattelu tiivistyy yhteen ideaan, Bayesin teoreemaan. Bayesin teoreema voidaan esittää olettamalla aluksi jokin aineisto, esimerkiksi

$$y^T \equiv \{y_t\}_{t=1}^T \in \mathbb{R}^{N \times T}. \quad (8)$$

Bayesilaisesta näkökulmasta katsoen aineisto on aina annettu. Seuraava askel on olettaa esimerkiksi jokin talousteoreettinen malli. Malli on indeksoitu i :llä ja se voi kuulua kaikkien mahdollisten mallien joukkoon M , niin, että $i \in M$. Malli koostuu:

1. Parametrien joukosta $\Theta_i \in \mathbb{R}^{k_i}$, mikä määrittelee hyväksyttävät arvot parametreille, jotka indeksoivat mallin yhtälöt. Tilastotiede asettaa joitain rajoituksia, esimerkiksi varianssien tulee olla positiivisia. Muut rajoitteet perustuvat taloustieteelliseen päättelyyn. On yleistä sitoa esimerkiksi diskonttotekijä intertemporaalisen valinnan ongelmaan.

2. Todennäköisyysfunktio $p(y^T|\theta, i): \mathbb{R}^{N \times T} \times \Theta_i \rightarrow \mathbb{R}^+$, kertoo todennäköisyyden sille, että malli antaa jokaisen havainnon jollain annetuilla parametriarvoilla. Tämä todennäköisyysfunktio on ainoastaan rajoite sille, että malli asemoituu aineistoon, perustuen joko tilastotieteen näkökohtiin tai tasapainoehtoihin.
3. Priorijakauma $\pi(\theta|i): \Theta_i \rightarrow R^+$ esittää otantaa edeltävät uskomukset parametrien oikeista arvoista.

Bayesin teoreeman mukaan parametrien posteriorijakauma saadaan seuraavasti:

$$\pi(y^T|\theta, i) = \frac{p(y^T|\theta, i)\pi(\theta|i)}{\int p(y^T|\theta, i)\pi(\theta|i)d\theta}. \quad (9)$$

Kyseinen tulos kertoo kuinka uskomuksia tulee päivittää parametriarvojen suhteen. Aiemmat uskomukset $\pi(\theta|i)$ yhdistetään otosinformaatioon, joka sisältyy todennäköisyyteen $f(y^T|\theta, i)$, ja tuloksena saadaan uusi joukko uskomuksia $\pi(\theta|y^T, i)$. (Fernández-Villaverde 2009.)

Kun tutkijalla on käytössään Bayesin teoreema, ei hän Fernandezin-Villaverden (2009) mielestä tarvitse enää kovin paljon muita työkaluja. Mille tahansa mallille täytyy vain määrittää todennäköisyys, selvittää priorijakauma sekä posteriorijakauma. Kun parametrien posteriorijakauma on selvillä, on mahdollista suorittaa päättely esimerkiksi piste-estimoinnilla tai mallivertailulla.

2.2.2 Kalman-suodin ja hiukkassuodin

Bayesin teoreema on matemaattisesti melko suoraviivainen menetelmä. Sen käytännön toteutus on kuitenkin monesti melko hankala, sillä se vaatii lukuisten integraalien laskemista. Apuna tähän laskennalliseen ongelmaan voidaan käyttää niin sanottua Kalman-suodinta, jos mallin muutosyhtälö ja mittausyhtälö ovat lineaarisia ja sokit ovat normaalisti jakautuneita. Lineaarisuus ja normalisuus ovat kuitenkin melko rajoittavia oletuksia. Esimerkiksi linearisointi eliminoi asymmetriaa, kynnyсарvojen vaikutuksia, ennaltaehkäisevää käyttäytymistä, isoja sokkeja sekä monia muita ilmiöitä, jotka kiinnostavat makrotaloustieteilijöitä. Kun tila-avaruus-esitys ei ole lineaarinen tai kun sokit eivät ole normaalisti jakautuneita, niin suodattamiseen voidaan käyttää niin sanottua hiukkassuodinta (particle filter). (Huntley ja Miller 2009.)

Kalman suodin voidaan luonnehtia kahden yhtälön, tila- ja havaintoyhtälön, avulla:

$$y_{t+1} = Gy_t + C_1 + v_{t+1}. \quad (10)$$

$$\bar{y}_t = A'o_t + H'y_t + w_t. \quad (11)$$

Näissä o_t on eksogeeninen ja ennalta määrätty termi. Arvot, jotka muodostavat \bar{y}_t :n ovat todellisia, mitattuja y_t :n komponentteja, joista on olemassa todellista aineistoa. Virhetermit ovat riippumattomia ja identtisesti jakautuneita. Muuttujan w_t oletetaan olevan nolla, mikä tarkoittaa, että kyseisessä yhtälössä ei ole mittausvirhettä. Konstruoiden A' , o_t ja H' , voidaan aineisto liittää Kalman-suotimen tiloihin, mitkä ovat mallin muuttujien log-poikkeamia niiden steady-state-arvoista. Mallissa voi olla myös y_t :n elementtejä, kuten esimerkiksi preferenssisokit tai kokonaistuottavuus, jotka eivät ole suoraan havaittavissa. Kalman-suodin tuottaa estimaatit myös näille havaitsemattomissa oleville elementeille. Lopuksi Kalman-suodin tuottaa log-todennäköisyyden, joka on funktio aineistosta \bar{y}_t ehdollistettuna parametrijoukolla Ξ . (Huntley ja Miller 2009.)

Hiukkassuotimen perusidea on Huntleyn ja Millerin (2009) mukaan melko yksinkertainen. Siinä korvataan ehdollinen jakauma $\{p(S_t|y^{t-1}; \theta)\}_{t=1}^T$ N :n otannan empiirisellä jakaumalla $\left\{ \left\{ s_{t|t-1}^i \right\}_{i=1}^N \right\}_{t=1}^T$ simuloinnin tuottamasta sarjasta $\{p(S_t|y^{t-1}; \theta)\}_{t=1}^T$. Seuraavaksi, suurien lukujen lain triviaalisovelluksen perusteella:

$$p(y^T | \theta) \simeq \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p(y_1 | s_{0|0}^i; \theta) \prod_{t=2}^T \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p(y_t | s_{t|t-1}^i; \theta). \quad (12)$$

Ongelmana sen jälkeen on suorittaa otanta jakaumasta $\{p(S_t|y^{t-1}; \theta)\}_{t=1}^T$. Se on kuitenkin mahdollista tehdä käyttäen peräkkäisotantaa. (Huntley ja Miller 2009.)

2.2.3 Estimointimenetelmät

Tovarin (2008) mukaan DSGE -mallien estimoinnissa on kirjallisuudessa käytetty pääasiassa kahta menetelmää, kalibrointia ja ekonometrista estimointia. Kalibrointi on aikaisemmin ollut hyvin suosittu menetelmä, mutta nykyään sen suosio on laskenut ekonometrisen estimoinnin kasvattaessaan suosiotaan. Varhaisissa DSGE-malleissa kalibrointi tarjosi mahdollisuuden

määrittellä parametrien arvot niin, että arvot vastasivat jotain hetkeä aineistossa. Parametrien arvoja lainattiin myös suoraan mikrotaloudellisesta evidenssistä. Vaikka kalibrointi tuottikin melko rajoitettuja tuloksia malleissa, saivat tutkijat osakseen mainetta, mikä mahdollisti malliperheen edelleen kehittämisen. Marsal (2011) on esimerkiksi kalibroinut oman mallinsa käyttäen Tšekin tilastollisen viraston sekä Maailmanpankin aineistoja Tšekin tunnusluvuista. Vaikeasti estimoitavissa olevia parametreja Marsal (2011) on käyttänyt mallin simuloidun aineiston sopeuttamiseen oikeaan Tšekkiläiseen aineistoon.

Tutkimusalan on nähty (Tovar 2008) muuttuvan huomattavasti 1990-luvulla. Kehittymistä tapahtui kolmella rintamalla. Ensiksi makrotaloustieteilijät oppivat kuinka laskea tehokkaasti tasapainomalleja, joissa on rikas dynamiikka. Toiseksi tilastotieteilijät kehittivät simulointitekniikoita, kuten Markov Chain Monte Carlo, joka on nykyään paljon käytetty menetelmä DSGE-estimoinneissa. Kolmantena kehittymisen kohteena Tovar (2008) mainitsee tietokoneiden kasvaneet tehot, mikä on tehnyt laskutoimitusten suorittamisesta kustannustehokkaampaa.

Ekonometrisen estimoinnin suosion kasvun taustalla on mm. uusien menetelmien kehittyminen sekä menetelmien laskennallisen tehon parantuminen. Kirjallisuudessa käytettyjä ekonometrisen estimoinnin menetelmiä ovat esimerkiksi tasapainojen suhteiden estimointi GMM:llä (Generalized Method of Moments), minimietäisyyden estimointi perustuen VAR- ja DSGE -mallien välisten impulssivastefunktioiden eroihin sekä Maximum Likelihood- (ML) ja Bayesilaiset-menetelmät.

Keskeisin ero näiden erilaisten estimointimenetelmien välillä on Tovar (2008) mukaan informaation määrä, jonka ne pystyvät käsittelemään. Esimerkiksi GMM käyttää ainoastaan osan mallin tuottamasta informaatiosta, kun taas ML-menetelmät käyttävät hyväkseen kaikki DSGE -mallin tuottamat seuraukset. Suuri osa DSGE-kirjallisuudesta on keskittynyt estimointimenetelmiin, jotka rakentuvat DSGE-mallista johdetun todennäköisyysfunktion ympärille. Tällöin ne tyypillisesti sisältävät myös Kalman-suotimen ja logaritmuotoisen todennäköisyysfunktion. Nykyään suosittu menetelmä on kasvattaa log-todennäköisyyttä prioriarvoilla ja suorittaa Bayesilainen estimointi. (Tovar 2008.)

Andreasen (2011a) käyttää työssään seuraavanlaista menetelmää. Hän jakaa mallin rakenteelliset parametrit kahteen ryhmään. Ensimmäisen ryhmän parametrit ovat vaikeasti tunnistettavissa, koska ne perustuvat tarkasteltuihin aikasarjoihin, ja Andreasen (2011a) määrittää ne osin kalibroimalla sekä osin viimeisimmän kirjallisuuden perusteella. Toinen ryhmä koostuu kaikista jäljelle jääneistä

rakenteellisista parametreista, jotka estimoidaan. Andreasen (2011a) estimoit parametrin käyttäen Quasi Maximum Likelihood-menetelmää, joka perustuu Central Difference Kalman Filteriin. Central Difference Kalman Filter yleistää tavallisen Kalman-suotimen, ei-lineaarisiin ja ei-normaaleihin tila-avaruus-systeemeihin.

Maximum Likelihood-menetelmillä on Tovar (2008) mukaan useita heikkouksia, kuten stokastisen singulaarisuuden ongelma. Toinen keskeinen heikkous on Tovar (2008) mukaan oletus siitä, että malli esittää oikein prosessin, joka tuottaa aineiston useille parametreille. Koska yhteisestimointi kaikille mallin tuottamille vuorovaikutussuhteille on suoritettu, ML-menetelmän estimaatit eivät hänen mukaansa ole todennäköisesti yhteneväisiä, jos määrittelyssä on tapahtunut virhe. Menetelmä on siis hyvin herkkä mallin määrittelyvirheille. Kirjallisuudessa on Tovar (2008) mukaan myös argumentoitu, että rakenteellisten parametrien ML-estimaatit ovat usein vastoin tutkijan muualta saamaa informaatiota.

Puhtaiden ML-menetelmien heikkouksista johtuen on kirjallisuudessa argumentoitu (Tovar 2008), että parempi estimointitapa DSGE-malleille on kasvattaa todennäköisyyttä prioreilla parametrijakaumien ympärillä. Tämä mahdollistaa posteriorijakauman rakenteen, mistä voi tehdä päätelmiä parametreista. Bayesilaiset menetelmät pystyvät käsittelemään ML-menetelmien heikkouksia useasta syystä. Ensiksikin, priorin painottaa todennäköisyyttä siten, että todennäköisyyden saavuttaessa huippunsa pisteessä, jossa se on samalla tasolla kuin priorin, on DSGE-mallin marginaalinen herkkyys alhainen. Yhtä tärkeää on, että posterioripäätely ei riipu siitä, onko malli oikeassa aineiston tuottamisprosessissa. Tärkeimpänä etuna Bayesilaisille menetelmille Tovar (2008) pitää kuitenkin mahdollisuutta liittää mukaan poliittisten päättäjien näkemys menneestä talouskehityksestä. (Tovar 2008.)

Bayesilaisessa menetelmässä oletetaan aineiston jakaumaparametrien olevan satunnaismuuttujia, jotka noudattavat niin sanottua priorijakaumaa, sen jälkeen nämä jakaumat estimoidaan tarkemmin aineistosta laskemalla niin sanotut posteriorijakaumat. Esimerkiksi De Graeve, Emiris ja Wouters (2007) käyttävät Bayesilaisia estimointimenetelmiä. He estimoivat ensiksi posteriorijakauman moodin maksimoimalla log-posteriorifunktion, mikä yhdistää parametrien priorin informaation aineiston todennäköisyyteen. Toisessa vaiheessa he käyttävät niin sanottua Metropolis-Hastings-algoritmiä saadakseen täydellisen kuvan posteriorijakaumasta ja havainnollistaakseen mallin marginaalista todennäköisyyttä. Smets ja Wouters (2004) ovat käyttäneet estimoinnissa niin ikään Bayesilaisia menetelmiä seitsemälle keskeiselle euro-alueen makrotaloudelliselle aikasarjalle: he

estimoivat työssään reaalisen BKT:n, kulutuksen, investoinnit, työllisyyden, reaali-palkat, inflaation sekä lyhyen koron.

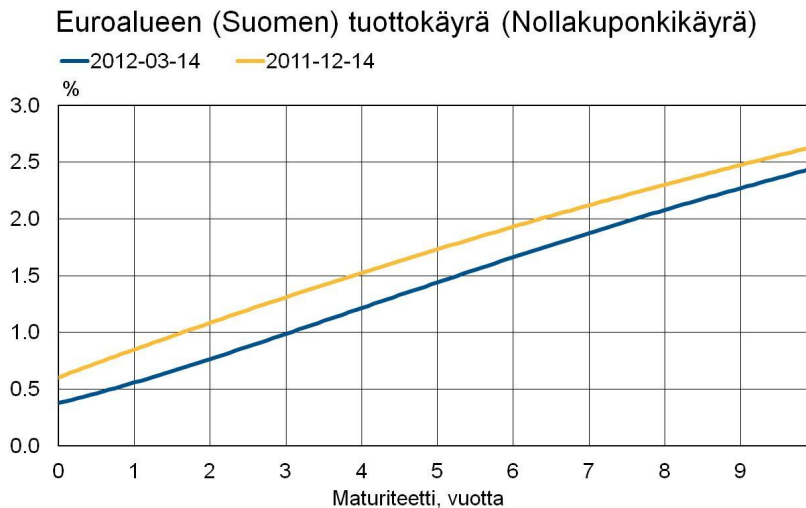
Fernandez-Villaverden ja Rubio-Ramirez (2006) mukaan politiikkafunktion toisen asteen approksimaatiovirheet, kuten sellaiset joita voi seurata mallin lineaarisoinnista, tuottavat ensimmäisen asteen vaikutuksen todennäköisyysfunktioon. Heidän mukaansa myös virhe approksimoidussa todennäköisyydessä kertaantuu otoksen koon kasvaessa. Kirjallisuudessa on löytynyt samankaltaisia tuloksia kuin Fernandez-Villaverden ja Rubio-Ramirez (2006) tutkimuksessa: ei-lineaarisen estimoinnin avulla voidaan tunnistaa suurempi määrä rakenteellisia parametreja. Lisäksi se tuottaa paremman vastaavuuden aineistoon sekä tarkemmat estimaatit rahapolitiikan hyvinvointivaikutuksille. (Fernandez-Villaverde ja Rubio-Ramirez 2006.)

Bayesilaisten menetelmien heikkouksina Tovar (2008) mainitsee sen, että priorijakaumat voivat vääristää tuloksia, jos todennäköisyysfunktio sisältää vain vähän tietoa. Priorijakaumilla voi olla myös vaikutus posteriorijakaumien todennäköisyys-suhteisiin sekä mallien vertailuun. Nimenomaan posteriorijakaumien todennäköisyydet ovat Tovar (2008) mukaan suoraan riippuvaisia priorijakaumien todennäköisyyksistä. Toinen tärkeä Bayesilaisia menetelmiä kohtaan osoitettu kritiikki on se, että rakenteellisten parametrien posterioriestimaatit nojaavat laskennallisesti voimakkaisiin simulointimenetelmiin. Ongelmana tässä on Tovar (2008) mukaan se, että Bayesilaisten tulosten toistaminen voi olla vaikeaa.

3. Korkojen aikarakenne

3.1 Aikarakenteen selityksiä

Velkakirjojen korkojen ja niiden maturiteetin välistä suhdetta kuvataan tuottokäyrällä. Tuottokäyrä ilmentää siis koron ja sen juoksuajan välistä riippuvuutta graafisesti, toisin sanoen se on graafinen kuvaus korkojen aikarakenteesta. Vaikka tuottokäyrä on ylöspäin nouseva, voivat sijoittajat rationaalisesti pysytellä erossa pitkistä koroista kahdesta syystä. Ensinnäkin, pitkäaikaisten velkakirjojen hinnat vaihtelevat paljon enemmän kuin lyhytaikaisten. Lisäksi lyhytaikaisesti sijoittavat toimijat hyötyvät korkojen noususta, koska he voivat sijoittaa monta kertaa lyhytaikaisesti yhden pitkäaikaisen sijaan.



Kuva 2. Euroalueen tuottokäyrä. (Suomen Pankki)

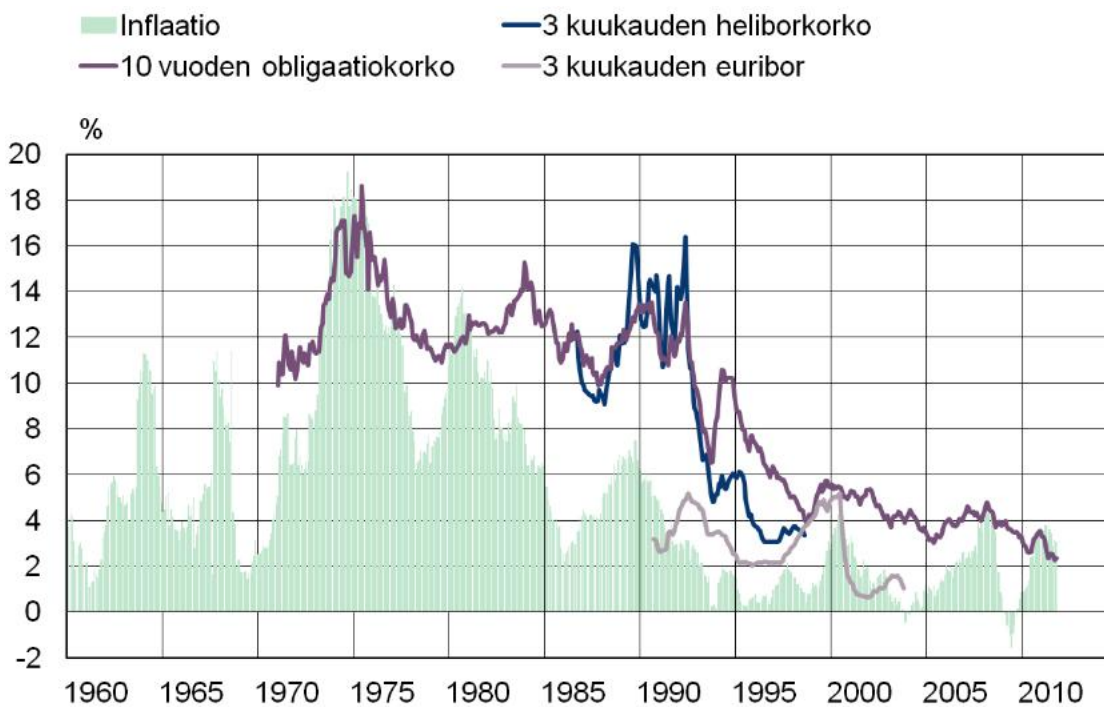
Kuvassa 2 on esitetty euroalueen tuottokäyrä vuoden 2011 loppupuolella ja kolme kuukautta myöhemmin, vuoden 2012 puolella. Nollakuponkilaina on rahamarkkinainstrumentti, jolle ei makseta korkoa sen juoksuaikana. Se hankitaan alle nimellishinnan, mutta juoksuajan päättyessä sille maksetaan nimellishinta.

Koska vallitseva korko ei huomioi velkakirjan tulevaa hinnan nousua tai laskua, se mittaa väärin velkakirjan totaalista tuottoastetta. Kokonaistuottoaste on määritelty diskonttotasoksi, joka tekee velkakirjan maksujen nykyarvosta yhtä suuren sen hinnan kanssa. Kun korko nousee, maksujen nykyarvo laskee ja velkakirjojen hinnat laskevat. Ja päinvastaisesti koron laskiessa sijoittajan saamien maksujen nykyarvo nousee, mikä johtaa korkeampiin hintoihin. (Brealy, Myers ja Marcus 2004.)

Velkakirjojen hintojen laskiessa markkinakorot nousevat ja hinnat taas nousevat markkinakorkojen laskiessa eli velkakirjan tuottoaste vaihtelee myös markkinakorkojen mukaan. Velkakirjat ovat siis alttiita korkoriskille. Kun korko ei muutu, velkakirjan hinta vaihtelee ajan myötä siten, että velkakirjan kokonaistuotto on yhtä suuri kuin kokonaistuottoaste. Jos velkakirjan kokonaistuottoaste kasvaa, periodin tuottoaste on pienempi kuin korko, ja päinvastoin. Tarkasteltaessa velkakirjoja niiden maturiteettien pituuksien mukaan voidaan huomata, että mitä pitempi maturiteetti, sitä korkeampi korko. (Brealy, Myers ja Marcus 2004.)

3.1.1 Tuotto- ja inflaatio-odotukset

Jos inflaatio on korkea tai inflaatio-odotukset ennakoivat korkeaa inflaatiota, yritysten toiminnan suunnittelu on epävarmaa ja yritykset siirtävät investointipäätöksiään tulevaisuuteen. Korkea inflaatio nostaa myös liiketoiminnan kustannuksia nopeammin kuin mitä tuottavuus kasvaa. Korkea inflaatio ja korkeat inflaatio-odotukset vaikuttavat esimerkiksi niin, että ihmiset eivät ole halukkaita säästämään tulevaisuutta varten, vaan kuluttavat mieluummin nykyhetkessä. Korkean ja epävakaan inflaation seurauksena lainanottajan taloudellisesta päätöksenteosta tulee riskialttiimpaa, kustannukset nousevat ja vaihtoehtoja on vähemmän.



Kuva 3. Suomen keskeisiä korkoja ja inflaatio. (Suomen Pankki)

Kuvassa 3 on esitetty Suomen keskeisiä korkoja ja inflaatio vuodesta 1960 eteenpäin. Inflaatiosta ei aiheudu talouteen ongelmia niin kauan kuin inflaatiovauhti on odotusten mukainen. Vaihteleva inflaatio voi johtua esimerkiksi raaka-aineiden kysynnän tai tarjonnan rajuista heilahteluista. Epävakaata sekä ennakoimatonta inflaatio haittaa investointeja ja säästämistä sekä aiheuttaa markkinoille tehottomuutta.

Tavanomaisin kuvaus koron ja inflaation väliselle yhteydelle on niin sanottu Fischer-hypoteesi. Hypoteesin taustalla on oletus, että sijoittajat voivat sijoittaa joko reaali-pääomaan reaalikorolla tai nimelliseen pääomaan nimellisellä korolla. Fischer-hypoteesi esitetään muodossa $1 + i =$

$(1 + r)(1 + \pi_e)$, missä i on nimellinen korko, r on reaalin korko ja π_e on odotettu inflaatio. Relatio esitetään usein muodossa $i = r + \pi_e$, mikä on harhaton, jos inflaatio ja reaalikorko ovat pieniä.

Johtuen rahapolitiikan tärkeästä roolista inflaation määrittämisessä pitkällä aikavälillä useimmat keskuspankit suunnittelevat politiikkansa vastaamaan inflaation muutoksiin. Keskuspankki päättää pitkän aikavälin inflaatiotavoitteestaan ja sopeuttaa reaalikorkoa vastauksena tuotannon ja inflaation vaihteluille tavoitteensa mukaisesti.

3.1.2 Aikarakennetta selittäviä teorioita

Korkojen aikarakennetta selittävän odotushypoteesin mukaan pitkät korot heijastavat odotuksia tulevista lyhyistä koroista. Taylorin säännön tapauksessa lyhyisiin korkoihin vaikuttavat inflaatio- ja tuotantokuilu. Näin ollen korkojen aikarakenteen pitäisi heijastaa odotuksia tulevaisuuden inflaatiosta ja tuotantokuilusta. Toisen korkojen aikarakennetta selittävän teorian mukaan pitkiin korkoihin vaikuttaa myös riskipreemio, joka voi poistaa yhteyden pitkien korkojen ja tulevien lyhyiden korkojen odotusten väliltä.

Puhtaan odotushypoteesin tapauksessa lyhyiden ja pitkien korkojen odotettu tuotto on nolla samalla aikavälillä. Odotushypoteesin löysempi versio sallii eri maturiteettisten korkojen tuottojen vaihtelevan tasaisesti. Sijoittajien olettaessa korkotason olevan liian korkealla nykyisellä tasollaan ja odottaessaan sen laskevan tulevaisuudessa, tarjoavat pitkäaikaiset velkakirjat tuottavamman vaihtoehdon kuin lyhytaikaiset. Tässä tapauksessa pitkäaikaisten velkakirjojen hinnat nousisivat, jos odotukset alhaisemmista tulevista koroista toteutuisivat. Näin ollen lyhyiden korkojen hinnat laskisivat, eli niiden korot nousisivat, kun taas pitkien korkojen hinnat nousisivat. Tämän kaltaista tilannetta ei voi esiintyä arbitraasin puuttuessa. Odotushypoteesi luonnehtii siis tuottokäyrän, joka toteutuu, jos arbitraasia ei esiinny ja toimijat ovat rationaalisia.

Likviditeettipreferenssiteoria perustuu myös rahoitusmarkkinoiden odotuksiin, mutta se painottaa enemmän sijoittajien riskipreferenssejä. Likviditeettipreferenssiteoriassa sijoittajat ovat riskinkarttajia ja he suosivat lyhyitä velkakirjoja, koska korkojen noustessa ne voidaan muuttaa helpommin ja pienemmin tappioiden rahaksi. Toisin sanoen sijoittajat suosivat likvidimpiä sijoituksia. Kysyntä ja tarjonta eivät ole siis tasapainossa, mikä aiheuttaa nousevan tuottokäyrän. Pitkistä

velkakirjoista tulisi saada riskipremio, joka aiheuttaa nousupaineen pitkien velkakirjojen tuottoihin.

Markkinasegmentaatioteorian mukaan pitkien ja lyhyiden korkojen välillä ei ole välttämättä riippuvuussuhdetta ja sijoittajilla on vakiintuneet preferenssit maturiteetin suhteen. Teoria edellyttää eri markkinat lyhyille ja pitkille koroille. Markkinasegmentaatioteoria kuvailee velkakirjan tuoton suhteena sen maturiteettiin ja velkakirjojen tuotto määräytyy maturiteettiryhmän sisällä kysynnän ja tarjonnan perusteella. Teoria ei ole kykeneväinen ennustamaan tuottokäyrän muotoa, vaan on yhteneväinen kaikkien korkojen aikarakenteiden kanssa.

3.2 Korkojen aikarakenne DSGE-malleissa

Makrotaloudellisia malleja on kritisoitu niiden kyvyttömyydestä vastata varallisuuserien hintoja. Tämä voi olla perusteltua, koska yksittäisten yritysten tulevaa odotettua tuottavuutta voi olla vaikea havaita. Varallisuuserien hinnat voivat siis riippua reaalityökalouden muuttujien vaihtelusta. Tämä ei kuitenkaan päde velkakirjojen kohdalla, vaan korkojen aikarakenteeseen vaikuttavat suurelta osin odotukset rahapolitiikan tulevasta suunnasta.

Ehdollisten varallisuuserien esiintyminen on Andreasenin (2011b) mukaan merkki siitä, että kaikkien varallisuuserien hinnoittelu voi perustua arbitraasin puuttumisen argumentteihin. Näin ollen nollakuponkilaina, jonka maturiteetti on k -periodia ja joka tuottaa yhden rahayksikön, voidaan hinnoitella stokastisen diskonttotekijän ja inflaation avulla. Andreasen (2011b) esittää, että jatkuvasti lasketuille koroille pätee $e^{-kr_{t,k}} \equiv P_{t,k}$, missä $r_{t,k}$ on korko periodilla t velkakirjalle, jonka maturiteetti on k periodia ja $P_{t,k}$ on velkakirjan hinta. Nimellinen korko on johdettu siten laskemalla nämä korot eri k :n arvoilla.

Malli ilman aikarakennetta tuo esiin rajoitteet, jotka johtuvat velkakirjojen ja rahan välisestä epätäydellisestä korvaavuudesta (Zagaglia 2009). Jos siis on tarjolla ainoastaan yhdenlainen velkakirja, niin rahan kysyntä voi vaihdella vapaasti ja vaimentaa kulutuksen ja inflaation vaihteluita. Aikarakenteen sisältämiä ja sisältämättömiä malleja ei voi suoraan verrata keskenään. Otoksen ulkopuolinen ennuste osoittaa, että aikarakenteen sisältävä malli ennustaa sekä tuotannon, että inflaation paremmin kuin tavanomainen uuskeynesiläinen malli (Zagaglia 2009).

Kun Zagaglia (2009) ottaa kaksi täydentävää velkakirjaa mukaan malliin, sijoitussalkun hajauttamiseen on tarjolla enemmän mahdollisuuksia siirtämällä resursseja pois reaalisista investoinneista ja kulutuksesta. Kun rahamarkkinakorkotaso nousee inflaation lisääntymisen johdosta, se vahvistaa tuotannon vähentymistä, mikä on alun perin seurausta politiikan tiukentamisesta. Koska kotitalouksille aiheutuu kustannuksia velkakirjojen hallussa omistamisesta, inflaatiotaso määrittää suoraan salkun hallintaan kohdistetun tulon tason. Zagaglian (2009) mukaan tämä merkitsee, että velkakirjojen korot sisältävät kompensaation inflaation vaihtelulle. Samaan aikaan muutokset aikarakenteessa vaikuttavat rahan kysyntään. Täten inflaatiotason liikkuminen aiheuttaa heiluntaa velkakirjojen koroissa sekä epäsuorasti rahan kysynnässä. Tämä viittaa siihen, että jäykemmät hinnat tuottavat pienemmän vastauksen lyhyeen korkoon, mikä tuottaa malliin ajallista syklisyyttä. (Zagaglia 2009.)

Kun korkojen aikarakenne otetaan mukaan DSGE-malliin, vahvistuu yleensä reaalityaloudellisten muuttujien reagointi rahapolitiikan muutoksiin. Inflaation ja tuotannon käyttäytyminen eroavat merkittävästi mallien ja sokkien välillä. Korkojen aikarakenne voi vahvistaa tai vaimentaa sokkien vaikutusta, riippuen talouteen iskevän eksogeenisen sokin tyypistä. Esimerkiksi rahan kysyntäshokki joka aiheuttaa äkillisen romahduksen tuotannossa sekä nousun aikarakenteen sisältävässä rahamarkkinatasossa, voi vahvistaa vaikutuksia. Sitä vastoin preferenssisokin iskiessä aikarakenne yleensä vaimentaa alkuperäistä tuotannon nousua.

3.2.1 Korkojen dynamiikka

Useat tutkimukset ovat tulleet tulokseen (Marsal 2011), että yleisen tasapainon mallit eivät tuota aikapreemiota, joka vastaisi laajuudeltaan varsinaisen aineiston havaintoja. Tämä on johtanut tutkimuksen nopeaan kasvuun ja seurauksena on syntynyt useita menestyksekkäitä makrotaloudellisen ja aikarakenneaineiston yhdistäviä malleja. Kirjallisuudessa on esitetty väite (Marsal 2011), että yksinkertainen malli, johon ei ole sisällytetty kulutustottumuksia eikä suuria yhtämittaisia sokkeja, on huono tuottamaan tuottokäyrän lyhyen pään dynamiikkaa.

Andreasenin (2011a) mukaan nimellisten ja reaalityaloudellisten korkojen ero määrittää niin sanotun break-even inflaatiotason, mikä koostuu odotetusta inflaatiosta ennen nollakuponkilainan erääntymistä, inflaation konveksisuustekijästä sekä inflaation riskipreemiosta. Ero nimellisten ja reaalityaloudellisten korkojen välillä voidaan Andreasenin (2011a) mukaan hajottaa kolmeen tekijään, jotka muistuttavat

minkä tahansa aikarakenteen sisältöä. Tämän tuloksena nimellisen ja reaalisin aikarakenteen ero määrittelee inflaation aikarakenteen, mikä on yhteneväinen Fischer-hypoteesin kanssa

Rahapolitiikka on yleensä pääasiallinen vaikuttava voima reaalisin aikarakenteen vaihtelulle (mm. Andreasen 2011a), mikä on ymmärrettävää uuskeynesiläisen mallin jäykkien hintojen vuoksi. Marsalin (2011) tutkimuksen mukaan lyhyt korko on tuottokäyrän keskeisin tekijä ja se on enemmän tai vähemmän rahatalouden päättäjien suorassa kontrollissa. Johtuen pidemmästä maturiteetista ja rahan aika-arvosta, pitkät korot voidaan nähdä riskikorjattuina odotuksina lyhyistä koroista. Täten keskuspankin käyttäytyminen on Marsalin (2011) mukaan tärkeä informaationlähde tuottokäyrän muodon määrittämisessä. Inflaation dynamiikkaan taas vaikuttavat Andreasenin (2011a) mukaan myös preferenssisokit, staattiset teknologiasokit sekä rahapolitiikka.

Sellaisen rahapoliittisen parametrin, joka hallitsee rahapolitiikkasäännön aggressiivisuutta, mukaan ottaminen malliin tuottaa joissain tapauksissa kasvun aikapreemioon (Emiris 2006). Aikapreemiolla tarkoitetaan preemiota, jonka sijoittajat vaativat pitääkseen hallussaan pitkäaikaista velkakirjaa useiden lyhyiden velkakirjojen sijasta. Vähemmän aggressiivinen rahapolitiikka vahvistaa lyhyen koron ja inflaation pysyvyyttä vastauksena mihin tahansa sokkiin sekä vahvistaa kulutuksen rajasubstituutiosuhteen ja velkakirjojen hintojen välistä kovarianssia. Lisäksi se muuttaa inflaatiopreemion vaikutuksen positiiviseksi ja tuottaa nousupaineen aikapreemioon (Emiris 2006). Inflaatiopreemiolla tarkoitetaan hyvitystä, jonka sijoittajat vaativat heikentyneen ostovoiman kompensoimiseksi.

Korkojen dynamiikka sopii yhteen De Graeven, Emirisin ja Woutersin (2007) mallin kanssa erittäin hyvin, jopa paremmin kuin monien muiden aikarakenteen makro-rahoitus-mallien. Mallit, jotka sisältävät ainoastaan korot eivät tuota samanlaista sidettä makrotalouteen kuin De Graeven ja muiden (2007) malli ja täten ne kohtaavat vähemmän rajoitteita korkodynamiikkaan vastaavuudessa. Tämän kaltaiset mallit eivät tunnusta aikarakenteen makrotaloudellista tulkintaa. Tekijät kuvailevat hyvin yksityiskohtaisesti, kuinka onnistuneesti aikarakenteen odotushypoteesi vastaa korkojen dynamiikkaa heidän DSGE-mallissaan. De Graeven, Emirisin ja Woutersin (2007) tutkimusten mukaan 90 % korkojen vaihteluista viimeisen neljänkymmenen vuoden aikana on yhteneväistä odotushypoteesin kanssa.

Myös Marsalin (2011) tutkimus tuotti samankaltaisen johtopäätöksen odotushypoteesin pätemisen osalta kuin De Graeven, Emirisin ja Woutersinkin (2007). Hänen mallinsa sopii hyvin makrotaloudelliseen aineistoon, mutta selvästi huonommin rahoitukselliseen aineistoon. Malli

tuottaa tasaisen korkojen aikarakenteen, jos siihen ei sisällytä aikapreemiota, Marsalin (2011) mukaan voidaan siis sanoa, että odotushypoteesi pätee mallissa.

Zagaglian (2009) DSGE-malli vastaa empiirisiä malleja suhteellisen hyvin, erityisesti aikarakenteen ja makrotalouden muuttujien välisiä dynaamisia suhteita. Ainoa huomattavissa oleva ongelma liittyy tekijän mukaan ristikovariansseihin reaalisen rahan ja tuotannon välillä sekä reaalisen rahan ja inflaation välillä. Kirjallisuudessa on aiemmin osoitettu, että endogeeninen rahan tarjonta, mieluummin kuin Taylorin sääntö nimellisille koroille, yhdistettynä nimellisillä jäykkyyksillä, auttaa selittämään rahan sekä reaalisten ja nimellisten muuttujien välistä suhdetta.

3.2.2 Sokkien vaikutukset

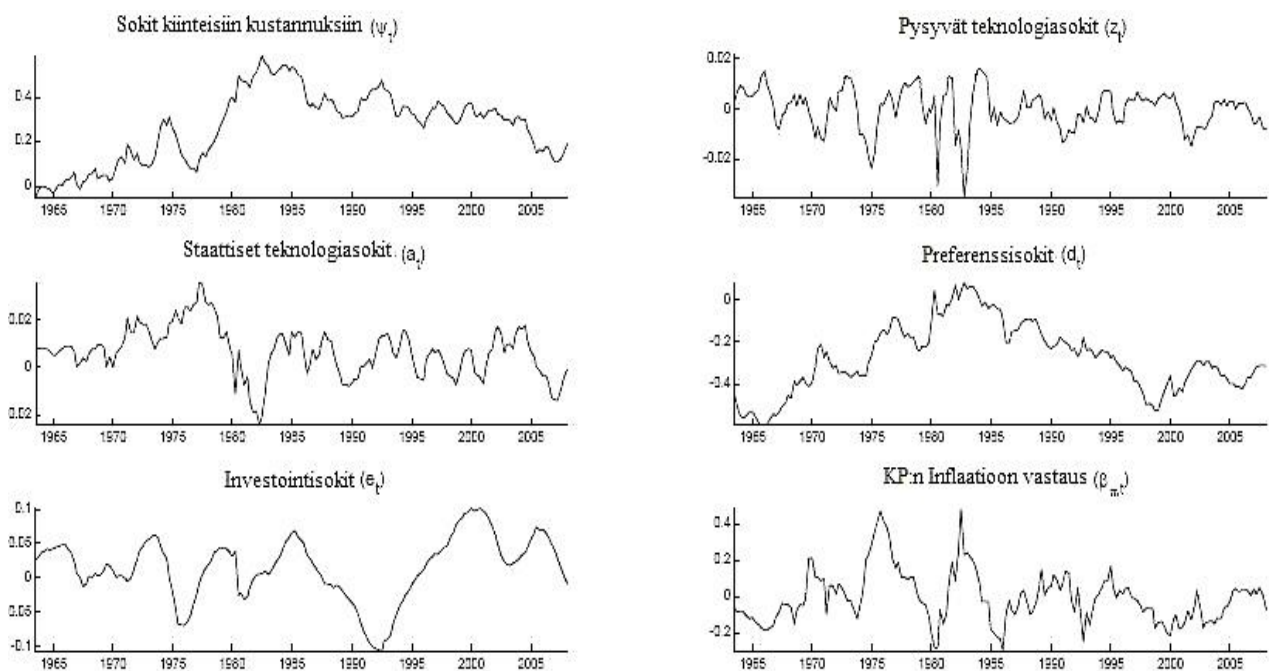
Keskeisin etu Andreasenin (2011b) mallissa ja rakenteeltaan samanlaisissa malleissa on se, että sillä pystytään tutkimaan mitkä sokit selittävät aineiston eri osia. Analyysi voidaan tehdä lineaarisella DSGE -mallilla joko sokki- tai varianssijajotelman avulla. Kyseiset hajotelmat (Andreasen 2011b) ovat kuitenkin vaikeita toteuttaa, jos malli ei ole lineaarinen, koska rakenteelliset sokit mallissa iskevät talouteen ei-lineaarilla tavalla. Tällainen hajotelma auttaa kuitenkin ymmärtämään niitä taloudellisia voimia, jotka vaikuttavat tuottokäyrään ja makrotalouteen.

Andreasenin (2011a) varianssijajotelman tulosten mukaan preferenssisokki on pääasiallinen vaikutin nimellisten korkojen aikarakenteelle ja kaksi erilaista teknologiasokkia selittävät selvästi vähemmän aineiston vaihtelusta tarkasteluhorisontin kasvaessa. Reaalista aikarakennetta on Andreasenin (2011a) varianssijajotelmassa selitetty useilla häiriötekijöillä ja ainoastaan dynaamiset teknologia- ja investointishokkien vaikutukset ovat merkityksellisiä. Investointisokit ovat luonnollisesti pääasiallinen tekijä investointien kasvulle, mutta myös pitkän aikavälin inflaatio-odotuksille, jotka selittyvät lähes pelkästään tällä sokilla.

Andreasen (2011a) tarkastelee sokkivaikutuksia myös rakenteellisen hajotelman avulla. Mallissa neljä sokkia vastaa suuresta osasta kymmenvuotisen inflaatiopreemion dynamiikasta: preferenssisokit, sokit yritysten kiinteisiin tuotantokustannuksiin, investointisokit sekä sokit, jotka johtuvat keskuspankin inflaatioon reagoinnista. Negatiivinen preferenssisokki 1997–1999 vähensi rakenteellisen hajotelman mukaan inflaatiopreemiota melkein 80 peruspisteellä. Lasku yritysten kiinteissä tuotantokustannuksissa 1990-luvun alussa selittää 40 pisteen pudotuksen

inflaatiopremiossa. Peräkkäiset positiiviset investointishokit 1995–2005 alensivat inflaatoriskiä vuosittain noin 40 pisteellä. Nämä sokit liittyivät kotitalouksien budjettirajoitteeseen ja täten alensivat reaalisia investointikustannuksia tällä periodilla. (Andreasen 2011a.)

Suotuisat preferenssi- ja investointisokit edistävät pysyvästi alhaisempaa inflaatiopremion tasoa (Andreasen 2011a). Inflaatoriskiä lisäävä paine on pääosin sidoksissa nousuun kiinteissä tuotantokustannuksissa otoperiodin aikana. Tämä johtuu Andreasenin (2011a) tutkimuksessa mahdollisesti korkeammista öljyn ja kaasun hinnoista, mikä selittäisi nousun inflaatiopremiossa vuoden 2006 jälkeen.



Kuva 4. Rakenteellisten sokkien kuvaajia. (Andreasen 2011b)

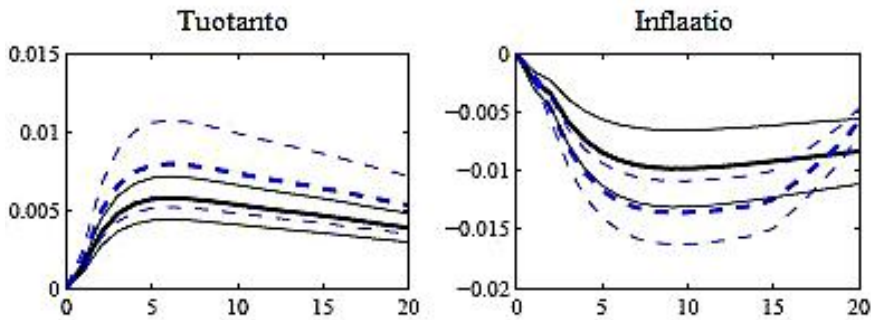
Kuva 4 esittää Andreasenin (2011b) estimoivat rakenteelliset sokit, jotka on kuvattu prosentuaalisena hajontana steady-state-tilasta. Andreasenin (2011b) mukaan kaikkein tärkein korkoihin vaikuttava sokki hänen esityksessään on muutos Yhdysvaltain keskuspankin inflaatiokuiluun vastaamisessa, mikä on yleisesti ottaen noin 30-40 % tuottokäyrän vaihtelusta ja odotetuista lyhyistä koroista. Teknologian dynaamiset muutokset ovat myös tärkeitä ja selittävät noin 30 % kaikkien korkojen vaihtelusta. Staattiset teknologiasokit selittävät noin 20 %

maturiteetiltaan maksimissaan yhden vuoden korkojen vaihtelusta, mutta ovat vähemmän tärkeitä koroissa joiden maturiteetti on pidempi. Myös sokki, joka johtuu yritysten kiinteistä tuotantokustannuksista selittää noin 20 % vaihtelusta kaikissa koroissa. Andreasen (2011b) tuli tulokseen, että rahapolitiikasta johtuvat sokit ovat tärkeitä tuottokäyrälle, mutta niin ovat myös teknologiset ja reaaliset tarjontashokit.

Andreasen (2011b) päätyi aikapreemion osalta tulokseen, että se on sitä suurempi mitä enemmän kulutus vähenee, minkä takia kulutuksen ja aikapreemion välillä on negatiivinen korrelaatio. Tämän vuoksi hänen mallinsa antaa tuloksen, että korkeammat kiinteät tuotantokustannukset nostavat nimellistä aikapreemiota. Tulos on ymmärrettävissä Fischer-hypoteesin avulla, sillä korkeammat tuotantokustannukset yrityksissä aiheuttavat nousupaineen inflaatio-odotuksiin ja sitä kautta nostavat nimellistä aikapreemiota, toisin sanoen tuottavat nousevan nimellisten korkojen aikarakenteen. Kymmenvuotisen velkakirjan hinta putoaa Andreasenin (2011b) mukaan dynaamisen teknologiashokin seurauksena ja kyseinen velkakirja auttaa kotitaloutta suojautumaan kulutusriskiltä. Tämän vuoksi kulutuksen ja kymmenvuotisen aikapreemion välillä on positiivinen korrelaatio, koska kotitalous on halukkaampi ottamaan ”vakuutuksen”, kun kulutus on korkealla. Preferenssisokin tapauksessa kulutuksen ja kymmenvuotisen velkakirjan hinnan välillä on negatiivinen riippuvuussuhde ja tämä selittää miksi positiivinen preferenssisokki nostaa nimellistä aikapreemiota. Andreasenin (2011b) mukaan aikapreemio putoaa, kun Yhdysvaltain keskuspankki vastaa aggressiivisemmin annettuun inflaatiokuiluun ja päinvastoin.

Emirisin (2006) mallissa pysyväisluonteinen ja eksogeeninen muutos keskuspankin inflaatiotavoitteessa tuottaa negatiivisen myötävaikutuksen aikarakenteeseen. Inflaatiotavoitteen kasvulla on ekspansiivinen vaikutus kulutukseen, tehden pitkän aikavälin velkakirjoista, joiden hinnat laskevat vastauksena tähän sokkiin, hyvän suojan kulutusriskiä vastaan. Emirisin (2006) tulos on siis samankaltainen kuin Andreaseninkin (2011b). Jos tämä sokki suljetaan mallin ulkopuolelle, niin inflaatiopreemiosta tulee positiivinen ja hyvin herkkä inflaation pysyvyydelle sekä korkoprosessille.

Zagaglia (2009) estimoi työssään niin sanotun rajoitetun DSGE-mallin, eli DSGE-mallin ilman keskipitkiä ja pitkiä korkoja. Tällaisen mallin estimointi tuotti korkeamman rahan kysyntäjouston ja intertemporaalisen substituutiojouston.



Kuva 5. Tuotannon ja inflaation impulssivasteet teknologiasokin tapauksessa. (Zagaglia 2009)

Kuva 5 esittää tuotannon ja inflaation impulssivasteita teknologiasokin tapauksessa. Katkoviivalla merkityt kuvaajat esittävät DSGE-mallia ilman aikarakennetta ja yhtenäiset viivat kuvaavat mallia, missä aikarakenne on mukana. Sokit preferensseihin, työn tarjontaan sekä teknologiaan ovat kaikkein tärkeimpiä Zagaglian (2009) aikarakenteettomassa mallissa. Sokit rahan kysyntään sekä ei-systemaattiseen rahapolitiikkaan eivät ole vaikutukseltaan niin tärkeitä aikarakenteettomassa mallissa. Zagaglian (2009) mukaan tämä johtuu siitä, että tekijät, jotka siirtävät rahan kysyntää suoraan tai rahan hallussa pitämisen vaihtoehtoiskustannuksen kautta, vaikuttavat myös aikarakenteeseen, kun omaisuuserien välillä vallitseva korvaussuhde ei ole täydellinen.

Emirisin (2006) makrotaloutta ja rahoitusta yhdistävä malli tuottaa pienen, mutta positiivisen ja kasvavan aikarakenteen. Eräät sokit, kuten teknologia-, julkisen kulutuksen- ja työn tarjontasokki tuottavat suuren ja positiivisen myötävaikutuksen aikarakenteeseen. Esimerkiksi tuottavuussokki, joka lisää kulutusta, sallii rahapolitiikan löysentämisen usean periodin ajaksi ja tekee kulutuksesta ja velkikirjojen hinnoista positiivisesti korreloituneita. Kotitaloudet vaativat ison preemion vakuutuksena tätä sokkia vastaan.

4. DSGE-mallien toimivuus

4.1 Ennustekäyttö

4.1.1 Ennusteen luominen

Valtion taloudellisessa tutkimuskeskuksessa (VATT) kehitetty VATTAGE-malli on rakenteeltaan dynaaminen yleisen tasapainon malli, jota sovelletaan mm. erilaisten poliittisten päätösten vaikutusten arviointiin sekä pitkän aikavälin talousskenaarioiden laadintaan. Malli ei ole VATT:ssa varsinaisena ennustemallina, mutta sitä voidaan kuitenkin käyttää erilaisten rakenteellisten tekijöiden sekä näkemysten yhdistämiseen kokonaistaloudelliseksi skenaarioksi. (Honkatukia 2009.)

VATTAGE-mallia käytettäessä yli ajan ulottuvien vaikutusten tarkasteluun, mallille laaditaan niin sanottu perusura, joka kuvaa talouden tilaa ilman politiikan vaikutuksia. Perusura voidaan asettaa joko määrittämällä muuttujille oletukset tai realistisemmän lähestymistavan mukaan pyrkiä selittämään historiaa mallin avulla ja yhdistää analyysin tietoa tulevaisuutta koskeviin skenaarioihin ja ennusteisiin. VATT käyttää perusuran tuottamiseksi historiaan ja asiantuntija-arvioihin perustuvaa tapaa. Mallissa käytetään asiantuntija-arvioita esimerkiksi keskeisistä vientitoimialoista, joihin malli voidaan sovittaa ko. toimialojen osalta. Jos tällaisia arvioita ei käytetä niin esimerkiksi ennusteen mukainen vientikysyntä jakautuu toimialoilla oletettujen teknologian ja kysynnän rakenteen trendien perusteella. Mallin laskelmissa keskeiset makrotaloudelliset oletukset on pyritty sovittamaan yhteen Suomen taloutta koskevien keskipitkän ja pitkän aikavälin ennusteiden kanssa. (Honkatukia 2009.)

Del Negrón ja Schorfheiden (2003) mukaan on olemassa kaksi hyvää syytä käyttää DSGE-malleja ennustamisessa. Ensimmäinen liittyy ennustetarkkuuden parantamiseen. Heidän mukaansa on yleisesti tiedostettu, että löysemmin parametrisoidut mallit, kuten VAR, ovat epätarkasti estimoituja, jollei hyvin pitkän aikavälin aineistoa ole saatavilla. Epätarkat estimaatit puolestaan tuottavat suhteellisen suuret ennustevirheet, erityisesti pitkällä ennustehorisonteilla. Ratkaisu tähän liian monen parametrin ongelmaan on Del Negrón ja Schorfheiden (2003) mukaan käyttää Bayesilaisia prioreita. Toinen syy DSGE-malleilla ennustamiseen liittyy heidän mukaansa politiikan muutosten vaikutusten arviointiin. Lucas-kritiikin mukaan ainoastaan mallit, joiden parametrit ovat syviä, ovat sopivia arvioimaan politiikan muutosten vaikutusta. (Del Negro & Schorfheide 2003.)

Sen lisäksi, että DSGE-malleilla voi tutkia talouden menneitä olosuhteita, voi sitä käyttää myös talouden ennustamiseen. Huntley ja Miller (2009) tuottavat ennusteen soveltaen yhtälöä $y_t = Gy_{t-1} + C_1 + \Delta z_t$, missä G on $n \times n$ matriisi ja Δ on riippumattomasti ja identtisesti jakautuneen sokin z_t vaikutus. Tapauksissa, joissa y_t muotoillaan vektoriksi steady-state-arvojen poikkeamista, on C_1 yhtä suuri kuin nolla. Tapauksissa, joissa y_t voi sisältää jonkin muun termin, C_1 voi saada nollassa poikkeavia arvoja.

Millä tahansa ajan hetkellä $t - 1$, otetaan vektori y_t ja sitä kerrotaan toistuvasti muutosmatriisilla G , jotta saadaan ennusteet T :lle periodille $t + 1, t + 2, \dots, t + T$. Tuloksena saatava ennuste olettaa, että sokkeja ei realisoidu enää enempää. (Huntley ja Miller 2009.)

Vaikka Huntley ja Miller (2009) esittävät ainoastaan hyvin suoraviivaisen projektion, menetelmä sallii rakentaa marginaalijakauman myös mahdollisista ennusteista. Kalibroimalla alussa muuttujat vastaamaan todellista talouden tilaa voidaan muodostaa simulaatio tuottamaan tuloksia laajalla rintamalla. Poliitiikan muuttuminen voidaan ottaa myös mukaan malleihin, kuten monessa mallissa on tehtykin. Esimerkiksi julkisen sektorin sisällyttäminen malliin mahdollistaa poliittisten muutosten mukaan tuomisen ja näiden muutosten vaikutusten ennustamisen. (Huntley ja Miller 2009.)

Myös Adolfson, Linde ja Villani (2005) esittävät hyvin seikkaperäisesti minkälainen menettely DSGE-malleilla ennustaminen on. Heidän esityksessään ennustava jakauma seuraavalle h :lle havainnolle hetkellä T voidaan esittää muodossa

$$p_T(y_{T+1}, \dots, y_{T+h}) = \int p(y_{T+1}, \dots, y_{T+h} | \theta) p_T(\theta) d\theta. \quad (13)$$

Kaavassa θ on vektori rakenteellisista parametreista DSGE-mallissa ja $p_T(\theta)$ on θ :n posteriorijakauma perustuen kaikkeen saatavilla olevaan informaatioon hetkellä T . Seuraava algoritmi käyttää tila-avaruus muotoa mallin ratkaisusta simuloidakseen $N = N_1 * N_2$ tulevaa polkua havainnoiduille muuttujille sekä havaitsemattomille tiloille yhteisennustejakaumassa.

1. Simuloidaan parametrivektori θ posteriorijakaumasta.
2. Simuloidaan vallitseva tilavektori jakaumasta $\xi_T \sim N(\hat{\xi}_{T|T}, P_{T|T})$, missä posteriorikeskiarvovektori $\hat{\xi}_{T|T} = E_T(\xi_T)$ sekä posteriorikovarianssimatriisi $P_{T|T} = Cov_T(\xi_T)$ saadaan Kalman-suotimen viimeisestä vaiheesta.
3. Simuloidaan tulevien tilavektoreiden ketju $\xi_{T+1}, \dots, \xi_{T+h}$ muutosyhtälöstä (mallin ratkaisusta) käyttäen ξ_T :tä, joka generoitiin kohdassa 2, sekä riippumattomasti ja identtisesti jakautuneiden

(iid, independent and identically distributed) tulevien sokkien ketju v_{T+1}, \dots, v_{T+h} jakaumasta $N(0, Q)$.

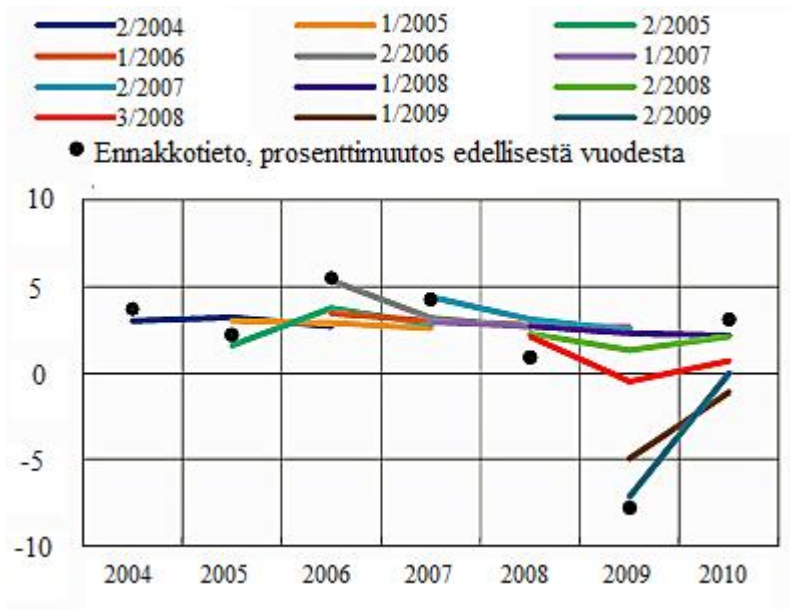
4. Simuloidaan mittausvirheiden riippumaton ja identtisesti jakautunut ketju $\zeta_{T+1}, \dots, \zeta_{T+h}$ jakaumasta $N(0, R)$ ja lasketaan havainnoidut muuttujat mallin tuottamasta mittausyhtälöstä.
5. Toistetaan kohdat 2-4 N_1 kertaa samalle θ :lle.
6. Toistetaan kohdat 1-5 N_2 kertaa.

Yllä oleva algoritmista selviää, että ennusteiden epävarmuus koostuu neljästä lähteestä: parametrien epävarmuudesta (θ), epävarmuudesta vallitsevan tilan suhteen (ξ_T), epävarmuudesta koskien tulevia sokkeja (v) sekä mittausvirheestä (ζ). Näiden neljän lähteen suuruus on mahdollista määrittää luomalla hajoitelma ennustekovarianssimatriisista $Cov(y_{T+h} | y^{(T)})$. (Adolfson, Linde ja Villani 2005.)

Esimerkiksi Christoffel, Coenen ja Warne (2010) käyttävät yllä olevaa Adolfsonin, Linden ja Villanin (2005) algoritmia ennustamisessa. Algoritmillä he saavat $N = N_1 N_2$ polkua ennustavalle jakaumalle. Sekä piste- että intervalliennusteet, kuten myös kvantiilit voidaan heidän mukaansa nyt laskea suoraviivaisesti. Lisäksi todennäköisyys, että muuttuja tavoittaa jonkun rajan ennusteotoksen aikana tai, että se kääntyy johonkin $T + h$:hon voidaan estimoida tarkastamalla kuinka usein tällainen ehto täyttyy eri poluilla. Jos ennusteen määrittämistoimenpide vaatii ainoastaan ajan hetkiä ennustavasta jakaumasta, kuten esimerkiksi keskiarvo ja kovarianssimatriisi, niin algoritmia ei tarvita. (Christoffel, Coenen ja Warne 2010.)

Suomen Pankki oli Englannin Pankin jälkeen ensimmäinen keskuspankki, joka otti DSGE-mallin ennustekäyttöön. Alun perin vuonna 2004 käyttöön otettu Aino-malli rakennettiin finanssipoliittisia kysymyksiä silmällä pitäen. Keskeisiä kysymyksiä olivat tuolloin mm. väestön ikärakenteen muutoksen ja eläkeläisten määrän kasvun finanssipoliitikalle aiheuttamat haasteet.

Aino-mallia on näiden haasteiden analysoinnin ohella käytetty myös kokonaistaloudellisen ennusteen kokoajana sekä vaihtoehtoisten talouden urien ennustajana. Mallin laskemaa ennustetta sopeutetaan eksogeenisen informaation pohjalta, eli ennuste ei ole pelkästään mallin tuottama laskelma, vaan ennustamisessa hyödynnetään myös mallin ulkopuolelta tulevaa tietoa. Mallille lasketaan myös vaihtoehtoisia laskelmia, joilla pyritään pienentämään ennustamiseen liittyvää epävarmuutta. (Newby, Railavo ja Ripatti 2011.)



Kuva 6. BKT, Suomen Pankin ennusteet ja toteutunut kasvu. (Euro & talous 3/2011)

Kuvassa 6 vuosittaiset ennusteet on esitetty omalla värillään, ja musta piste kuvaa kansantalouden tilinpidon ennakkotiedon kasvulukua. Aino-mallin lineaarinen rakenne mahdollistaa ennustamista helpottavien menetelmien käyttämisen sekä Bayesilaisten menetelmien käytön mallin parametrien estimoinnissa. Kun mallin rakenne on saatu kiinnitettyä ja parametrien arvot estimoitua, voidaan häiriöprosessit laskea käyttäen Kalman-suodinta. Häiriöprosessien avulla voidaan mallin tuottamaan ennusteeseen sisällyttää ulkopuolista informaatiota. Esimerkiksi jos talouden kasvun uskotaan kiihtyvän tuottavuuden kasvun seurauksena, voidaan mallissa olevaa teknistä kehitystä korjata vastaamaan tätä informaatiota. (Newby, Railavo ja Ripatti 2011.)

4.1.2 Ennustuskyky

DSGE-malleja vertaillaan ennustuskyvyn osalta kirjallisuudessa yleensä erilaisiin VAR-malleihin (Vector Autoregression), BVAR-malleihin (Bayesian VAR), satunnaiskulun malleihin (Random Walk) sekä niin sanottuihin naiiveihin ennusteisiin. Tässä tutkimuksessa ei esitellä kilpailevia malleja sen tarkemmin, vaan ainoastaan ennusteiden lopputulosten osalta verrattaessa DSGE-mallien vastaaviin. Täten kilpaileviin malleihin syventyminen jätetään lukijan tehtäväksi.

Wangin (2008) tulokset ovat yhteneväisiä lukuisten muiden tutkimusten kanssa sen suhteen, että niin sanotut faktorimallit pystyvät tuottamaan hyviä lyhyen aikavälin ennustuksia tuotannon

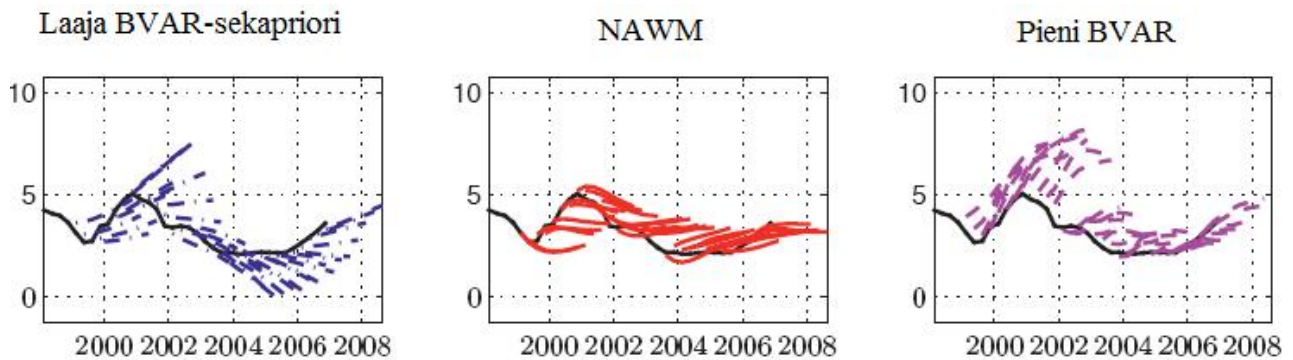
kasvulle sekä inflaatiolle. Wangin (2008) DSGE-mallin estimointitulokset ovat melko tavanomaisia, kun niitä verrataan empiiriseen kirjallisuuteen. Yllättävin tulos (Wang 2008) on DSGE-mallin vahva ennustuskky ennustettaessa inflaatiota pitkällä aikavälillä, kun taas rajoittamaton VAR-malli ei kykene tuottamaan informatiivisia ennusteita useimmissa tapauksissa.

Zagaglian (2009) työssä DSGE -mallia on verrattu muihin, aineistohavainnoista estimoituihin, eripituisten viivästymien VAR-malleihin. DSGE-malli pärjää hyvin rajatodennäköisyydellä ilmaistuna, mikä viittaa Zagaglian (2009) mukaan hyvään ennustesuoritukseen. Myös posterioritodennäköisyydet viittaavat siihen, että DSGE-mallia ei voida hylätä tavanomaisilla luotettavuustasoilla. Makromuuttujien suhteen Zagaglian (2009) aikarakenteen sisältämä DSGE-malli tuottaa parhaat ennusteet inflaatiolle ja tuotannolle kaikilla tarkastelujaksoilla. Sen suorituskky on lähellä kaikkien aikojen parasta ennustemallia kulutuksen osalta. Mallin suoriutuminen ei ole niin vahvaa investointien, työllisyyden ja palkkojen suhteen. DSGE-mallin pitkien korkojen ennustevoima on lähellä parasta, kun taas VAR-mallit pärjäävät maturiteetiltaan neljään kuukauteen asti olevissa koroissa paremmin. (Zagaglia 2009.)

Adolfson, Linde ja Villani (2005) tutkivat DSGE-mallin ennustuskkyä verrattuna VAR-, BVAR- ja yhden muuttujan satunnaiskulun malleihin sekä keskiarvojen ja viimeisimpien aineistohavaintojen naiiveihin ennusteisiin. DSGE-malli pärjää erittäin hyvin yhden muuttujan piste-ennusteissa avoimen talouden muuttujien kohdalla, kuten reaalin vaihtokurssi, vienti ja tuonti. Myös RMSE:n (Root Mean Squared Forecast Errors), eli ennusteen keskivirheen neliöjuuri-analyysin mukaan DSGE-malli pärjää näiden muuttujien kohdalla hyvin, niin lyhyellä kuin pitkälläkin aikavälillä, antaen ymmärtää, että avoimen talouden näkökohdat ovat kyseisessä esityksessä hyvin mallinnettu.

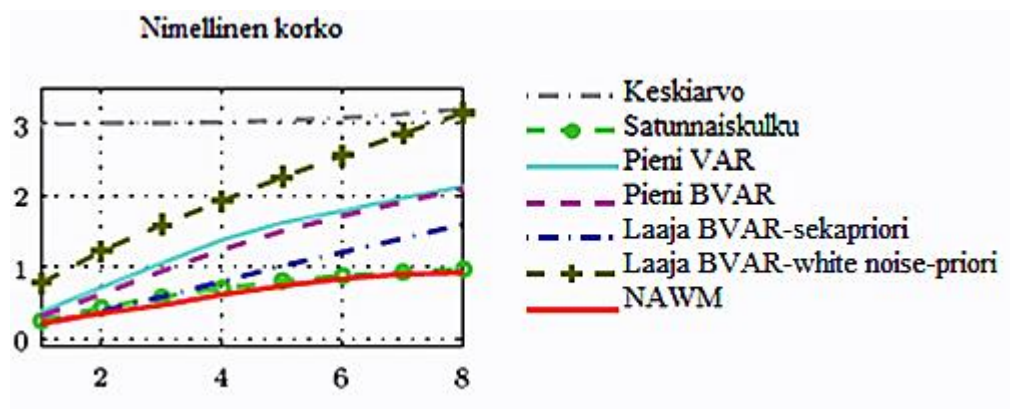
Kotimaisten muuttujien kohdalla DSGE-malli ennustaa tuotannon, kulutuksen sekä työllisyyden erittäin hyvin, mutta pitkän aikavälin kotimaisen inflaation ja reaali-palkkojen ennustaminen tuottaa sille vaikeuksia. Verrattaessa usean muuttujan piste-ennusteiden tarkkuuksia antaa DSGE-malli paljon tarkempia ennusteita kuin esimerkiksi BVAR keskipitkillä ja pitkillä aikaväleillä. Kokonaisennustejakaumaa tarkasteltaessa mallien väliset erot olivat Adolfsonin ja muiden (2005) mukaan suhteellisen pieniä. Perusrakenteinen DSGE-malli tuotti kuitenkin jossain määrin paremman usean muuttujan ennustejakauman pitkällä aikavälillä, kun taas BVAR pärjäsikin paremmin kokonaisennusteen tuottamisessa lyhyemmällä tarkastelujaksoilla. (Adolfson, Linde ja Villani 2005.)

Christoffel, Coenen ja Warne (2010) vertailivat Euroopan keskuspankin NAWM:n (New Area Wide Model) ennustamiskykyä suhteessa VAR-malliin, kolmeen BVAR-malliin sekä naiiviin satunnaiskulkuun. NAWM suoriutuu hyvin yhden muuttujan keskivirheen neliöjuuri-analyysissa bruttokansantuotteen kasvun, reaalisien viennin ja reaalisien tuonnin kasvun, tuonnin hintadeflaattori-inflaation, työllisyyden sekä lyhyen aikavälin nimellisen korkotason ennustamisessa. Hankaluuksia DSGE-mallille tuottivat nimellispalkkojen kasvua koskevat ennusteet sekä kulutusdeflaattori-inflaatiota lyhyemmillä tarkastelujaksoilla koskevat ennusteet.



Kuva 7. NAWM:n ja kahden kilpailevan mallin ennustepolut nimelliselle korolle. (Christoffel, Coenen ja Warne 2010)

Kuvassa 7 on kuvattuna NAWM:n, laajan BVAR:n (Large BVAR) sekä pienen BVAR:n (Small BVAR) tuottamat neljännesvuosittaiset ennustepolut nimelliselle korolle. Musta viiva kuvioissa kuvaa toteutunutta nimellistä korkoa.



Kuva 8. Keskivirheiden neliöjuuri-analyysi nimellisen koron ennustevirheistä. (Christoffel, Coenen ja Warne 2010)

Kuvassa 8 on havainnollistettuna keskivirheen neliöjuuret mallien ennustevirheissä nimellisen koron osalta. Yhden muuttujan keskivirheen neliöjuuri-analyysin mukaan, ennustettaessa

neljännesvuosittaisia muutoksia, vertailu muihin malleihin kääntyy pitkällä ennustejaksolla NAWM:in suosioksi. Ennustettaessa vuosittaisia muutoksia NAWM:in ennustuskyky on vähemmän mairitteleva, sen sijaan naiivi satunnaiskulun perusmalli suoriutuu hyvin suhteessa kilpailijoihinsa, kun ennustetaan vuosittaista vaihtelua neljännesvuosittaisen sijaan. (Christoffel, Coenen ja Warne, 2010.)

Christoffelin, Coenenin ja Warnen (2010) mukaan NAWM ennustaa volatiilisia muuttujia suhteellisen hyvin. Heikommin se ennustaa muuttujia, jotka ovat vähemmän alttiita vaihtelulle. Laaja BVAR-malli sekapriorilla (mixed prior) suoriutuu muita malleja paremmin, erityisesti lyhyillä tarkastelujaksoilla. DSGE-malli sijoittuu ennustejakaumatarkastelussa parhaiten pärjänneen laajan BVAR-mallin lähelle, erityisesti silloin, kun tarkastelujaksot ovat pitkiä.

		Tuotanto	Inflaatio	Korko	Kulutus	Investoinnit
DSGE	1	0,34	0,27	0,13	0,38	1,02
	2	0,57	0,29	0,20	0,57	1,93
	4	1,17	0,29	0,26	1,02	4,09
VAR(1)	1	0,40	0,35	0,14	0,68	1,12
	2	0,74	0,45	0,21	1,36	2,23
	4	1,73	0,56	0,29	2,85	5,17
BVAR(1)	1	0,39	0,35	0,14	0,67	1,11
	2	0,74	0,45	0,21	1,34	2,21
	4	1,72	0,56	0,29	2,80	5,13

Taulukko 1: Mallien välinen vertailu keskivirheen neliöjuurista. (Smets ja Wouters 2004)

Taulukossa 1 on tilasto, jossa on vertailtu keskivirheen neliöjuuria DSGE-, VAR- ja BVAR-mallien kesken viiden eri muuttujan osalta. Vertailu on periodilta 1999–2002 niin, että numero 1 taulukossa tarkoittaa vuotta 1999 ja numero 4 vuotta 2002. Periodin ollessa suhteellisen lyhyt, tulokset ovat ainoastaan suuntaa antavia, mutta tulos vahvistaa osaltaan kirjallisuuden tuloksia DSGE-mallien hyvästä suoriutumisesta ennustemallien vertailussa.

De Graeve, Emiris ja Wouters (2007) vertasivat DSGE -mallin ennustamiskykyä VAR-malliin ja korkojen osalta he vertasivat mallin ennustamiskykyä myös satunnaiskulun menetelmään. Mallin kyky ennustaa työtunteja, palkkoja ja kulutusta olivat heikompia kuin VAR-mallilla. DSGE-malli oli menestyksekkäämpi ennustamaan inflaatiota, kokonaistuotantoa ja investointeja. Otettaessa huomioon erot otosperiodeissa ja muuttujissa DSGE-mallin ennustamiskyky vaikuttaa kuitenkin hyvin kilpailukykyiseltä (De Graeve, Emiris ja Wouters 2007).

Riippumatta tarkasteltavista ennustehorisonteista DSGE-malli ei koskaan suoriudu paremmin kymmenen vuoden koron ennustamisesta. Pidemmän tarkastelujakson ennusteet lyhyemmän maturiteetin koroille parantuvat eniten DSGE-mallin kohdalla. Pitkillä tarkastelujaksoilla myös pidemmän maturiteetin korot pyrkivät DSGE-mallissa parantumaan eniten. Tekijät esittivät tulkinnan pitkän horisontin lyhyemmän maturiteetin korkojen parantuneille ennusteille: Ennustemielessä parantuneiden lyhyiden korkojen takana oleva vaikuttava voima on pitkämaturiteettisten korkojen mukaan ottaminen. Odotushypoteesi, sisällytettynä malliin jatkuvana, hajottaa nämä korot tuleviksi koroiksi. Täten informaatio, joka on sisällytetty pitkiin korkoihin, parantaa tuotto-odotusta tulevista lyhyistä koroista. (De Graeve, Emiris ja Wouters 2007.)

Estimoidut mittavirheiden keskihajonnat ovat De Graeven, Emirisin ja Woutersin (2007) tarkastelussa pieniä. Odotushypoteesin selvä menestys kyseisessä mallissa johtuu tekijöiden mukaan siitä tosiasiasta, että odotukset ovat mallinnettu kattavammin kuin kolmen yhtälön uuskeynesiläisessä DSGE-mallissa. Koska malli sisältää enemmän sokkeja kuin aikaisemmat mallit, koron vaihtelut voidaan yhdistää useammalla tekijällä, toisin kuin aikaisemmissa rahoitus- sekä makro-rahoitusmalleissa. (De Graeve, Emiris ja Wouters 2007.)

tutkimus	DSGE-malli suoriutui paremmin	DSGE-malli suoriutui heikommin
Zagaglia (2009)	Pitkät korot, inflaatio, tuotanto sekä kulutus.	Investoinnit, työllisyys, palkat sekä lyhyemmät, alle 4kk korot.
Adolfson, Linde ja Villani (2005)	Lyhyellä ja pitkällä aikavälillä reaalin vaihtokurssi, vienti ja tuonti. Tuotanto, kulutus ja työllisyys. Pitkän aikavälin kokonaisennustejakauma.	Pitkän aikavälin kotimainen inflaatio ja reaali-palkat. Lyhyemmän aikavälin kokonaisennustejakauma.
Christoffel, Coenen ja Warne (2010)	BKT:n kasvu, reaalin tuonnin ja viennin kasvu, tuonnin hintadeflaattori-inflaatio, työllisyys sekä lyhyen aikavälin nimellinen korkotaso. Pitkän ennustejakson nimellinen korko. Vaihtelevat muuttujat.	Nimellispalkkojen kasvu, lyhyen aikavälin kulutusdeflaattori-inflaatio. Nimellisen koron vuosittaiset muutokset. Vähemmän vaihtelevat muuttujat.
De Graeve, Emiris ja Wouters (2010)	Inflaatio, kokonaistuotanto ja investoinnit. Pidemmän tarkastelujakson lyhyemmän maturiteetin korot.	Työtunnit, palkat ja kulutus. Kymmenen vuoden korko.

Taulukko 2: DSGE-mallien suoriutuminen eri tutkimuksissa.

Taulukko 2 kokoaa yhteen kirjallisuuden tuloksia DSGE-mallien suoriutumisesta ennusteiden tuottamisessa. DSGE-mallit vaikuttaisivat alan viimeisimmän vertailutiedon mukaan olevan varsin kilpailukykyisiä ennustemalleja. Erityisesti tulokset osoittavat DSGE-mallien hyvää suoriutumista mm. silloin, kun tehdään yhden tai usean muuttujan piste-ennusteita. Myös tiettyjen makrotalouden muuttujien, kuten inflaation, kulutuksen ja tuotannon hyvä ennustuskyky nousee esiin monen mallin kohdalla. Lisäksi pidemmät tarkastelujaksot näyttäisivät kirjallisuuden perusteella olevan suotuisia DSGE-mallien kohdalla.

4.2 DSGE-mallien haasteet

4.2.1 Makrotalousteoreettinen kritiikki

Kun korkeasti velkaantuneet kotitaloudet kohtaavat ennakoimattoman tulonpudotuksen, nousun elämiskustannuksissa, nousun lainakoroissa tai uusia rajoituksia lainaamisessa, leikkaavat ne todennäköisesti kysyntäänsä ja äärimmäisissä olosuhteissa voivat joutua maksukyvyttömyyteen. Tämä näyttäisi olevan kiihdytin myös finanssikriisin taustalla. Lainoittajien ja pankkien kaatuminen oli vain seurausta tästä. Wickensin (2009) mukaan modernin makrotalousteorian ymmärtäminen sekä tietoisuus riskien arvioinnin fundamenteista olisivat hyvin saattaneet estää kriisin syntymisen.

Suuri osa viimeisimmästä kritiikistä DSGE-malleja kohtaan voidaan nähdä kritiikkinä koko modernia makrotalousteoriaa kohtaan, johtuen mallien epäonnistumisesta 2007 alkaneen finanssikriisin ennustamisessa. Mike Wickens vastasi modernia makrotalousteoriaa kohtaan esitettyyn kritiikkiin Ludwig-Maximilians yliopiston Center for Economics Studiesin ja Ifo Institute for Economic Researchin järjestämässä konferenssissa vuonna 2009 Münchenissä. Seuraavassa alaluvussa on poimintoja Wickensin vastauksesta modernin makrotalousteorian kritiikkiin.

Paul Krugman on väittänyt, että viimeisen 30 vuoden aikainen makrotaloustiede on parhaimmillaan ollut täysin käyttökeltotonta ja huonoimmillaan suorastaan haitallista ja, että makrotaloustiede elää synkkiä aikoja (Wickens 2009). Krugman kritisoi modernissa makrotaloustieteessä ekonomistien tapaa ottaa matemaattinen mallintaminen ainoana mahdollisuutena ja erityisen suurena epäonnistumisena hän pitää makrotaloustieteen kykenemättömyyttä ennustaa viimeisintä finanssikriisiä (Wickens 2009). Makrotaloustieteen kriitikoiden keskuudessa on myös argumentoitu, että taloustiede on valinnut matematiikan sen sijaan, että olisi ottanut saman linjan kuin muutkin yhteiskuntatieteet ja lisännyt inhimillisen käyttäytymisen tutkimusta.

Poliittisten päättäjien taholta on esitetty kritiikkiä, että DSGE-mallit, etenkin uuskeynesiläinen inflaatiomalli, ovat liian yksinkertaisia ollakseen käyttökelpoisia. Tehokkaiden markkinoiden hypoteesi on myös usein kritiikin kohteena. Yhtenäinen teema tälle kritiikille on halu palata takaisin keynesiläiseen taloustieteeseen. Keynesiläisen taloustieteen on monesti katsottu pysyvän parhaimpana viitekehyksenä taantumien ja lamojen ymmärtämiseen. Myös rationaaliset odotukset ovat saaneet osansa kritiikistä. (Wickens 2009.)

Rahoitusekonomistit hinnoittelevat sijoitukset suhteessa toisiin sijoituksiin ja käyttävät esimerkiksi CAP-mallia suhteellisen riskin hinnoitteluun. Makrotaloustieteilijät taas käyttävät yleisen tasapainon malleja, jotka perustuvat siihen kuinka muutokset talouden fundamenteissa vaikuttavat kuluttajien tai sijoittajien hyvinvointiin. Kun riski pohjautuu joko viimeaikaiseen tai keskiarvoiseen pitkän aikavälin hintavolatiliteettiin on vaarana Wickensin (2009) mukaan se, että:

1. volatiliteetti voi vaihdella hyvin nopeasti,
2. äärimmäiset, mutta harvinaiset hintamuutokset ollaan taipuvaisia diskonttaamaan,
3. mahdollinen tuleva volatiliteetti voi jäädä huomioimatta.

Kaikki kolme edellä olevaa olivat Wickensin (2009) mielestä eteenpäin ajavia tekijöitä viimeisimmässä finanssikriisissä. Yksi hyöty fundamenttien riskin arvioinnissa on se, että sen ei tarvitse pohjautua puhtaasti aikasarja-analyysiin ja historialliseen evidenssiin, mikä jättää huomioimatta ristikorrelaatiot ja systeemistä johtuvan riskin (Wickens 2009). Jos kotitaloudet ja rahoitusyhtiöt ovat korkeasti velkaantuneita, molemmat altistuvat sokeille ja maksujen laiminlyönneille.

Finanssikriisin spillover-vaikutukset johtuivat siitä, että sijoittajat eivät olleet tietoisia riskistä, jonka he ottivat. Toisin sanoen informaation puute ja sen hyväksikäyttö rahoitusmarkkinoilla yhdistettynä haluan ottaa riskiä oli syy, joka johti kriisiin (Wickens 2009). Kaikki makrotaloustieteen teoriat olisivat Wickensin (2009) mukaan ennustaneet, että tietyt sokit voivat johtaa velkojen maksukyvyttömyyteen ja näin ollen luomaan riskejä, joita ei ole ehkä ennen koettu.

4.2.2 Mallien kehittämistarpeita

Yleensä makrotaloudellisissa DSGE-malleissa esitetään toimijat, jotka ovat rakenteellisesti hyvin kehittyneitä reaaliosalla puolella, kuten työn tarjonta, kulutus, investoinnit reaali-pääomaan ja niin

edelleen. Tällaiset mallit ovat kuitenkin monesti puutteellisia rahoitusvaateiden esittämisen osalta. Toinen ääripää ovat mallit, joissa on täydelliset rahoitusvaateiden markkinat ja toimijoiden portfolio-ongelma on hyvin mallinnettu, mutta mallin makrotaloudellinen puoli jää heikommaksi. Ratkaisu moneen ongelmaan, joissa tarkastellaan rahataloudellisia ja fiskaalisia vaikutuksia, olisi Faustin (2008) mukaan malli, joka olisi vahva niin makrotalouden kuin rahoituksen alueellakin.

Faust (2008) näkeekin makrotaloudellisten ja rahoituksellisten vahvuuksien yhdistämisen haasteena varallisuuserien hintojen yhteensovittamisen talouden fundamenttien kanssa. Merkittäväksi tulevaisuuden kehityskohteeksi Faust (2008) nostaa varallisuuserien käyttäytymistä koskevien ongelmien ja olemassa olevien mallien anomalioiden yhteensovittamisen. Makrotalousteorian haasteeksi on muissakin esityksissä (Wickens 2009) nostettu inhimillisen käyttäytymisen lisääminen malleihin. Behavioraalinen taloustiede voisi tuoda DSGE-malleihin mielenkiintoisen ja inhimillistä käyttäytymistä korostavan lisän ja lisätä mallien realistisuutta. Mallit kokisivat tällöin merkittäviä rakenteellisia ja oletuksiin vaikuttavia muutoksia esimerkiksi toimijoiden rationaalisuuden osalta.

Sekä makrotaloudellisissa että rahoituksen malleissa on Faustin (2008) mukaan neljä tärkeää haastetta, kun DSGE-malleja sovitetaan aineistoon.

1. Kaikkia ongelmia ei pysty ratkaisemaan, joten kaikissa nykyisissä DSGE-malleissa on ongelma-alueita. Nämä jätetään huomiotta, jotta voidaan keskittyä olennaisiin vaikutuksiin.
2. Mallit eivät pysty huomioimaan hyvin suuren muuttujien joukon yhteisdynamiikkaa. Täten makrotalouspoolella voidaan keskittyä vaikka bruttokansantuotteeseen, kulutukseen ja inflaatioon pitäen esimerkiksi tuottoasteen vakiona. Rahoituksen puolella voidaan jättää pois suurin osa makromuuttujista ja keskittyä laajempaan tuottojen joukkoon.
3. On olemassa monia valintoja, joiden vuoksi ongelmat alkavat kertaantua. Voidaan käyttää rationaalisia odotuksia, jotka on kehitetty yhteneväiseksi mallin täyden vaikutusjoukon kanssa. Rationaalisten odotusten tapaus on heikentynyt olennaisesti, koska kohtien 1 ja 2 mukaan kaikkien vaikutusten huomioiminen on ongelmallista. Vaihtoehtona on tehdä mallia koskeva päättely käyttäen instrumentaalimuuttujia, mikä jättää odotusten käsittelyn hyvin epäsuoraksi ja sallii tutkijan jättää huomiotta joitain odotuksia käsitteleviä kysymyksiä. Odotukset voidaan kuitenkin estimoida käyttäen tilapäistä aikasarjamallia.
4. Kun tiedetään, että nykyisillä malleilla on vakavia puutteita, malleja koskevan muodollisen päättelyn on joskus argumentoitu olevan mielenkiinnoton. Malleista tulee Faustin (2008) mukaan usein hyvin huonoja, jos käytetään muodollista päättelyä.

Makrotaloudellisten mallien realistisuutta ja siten myös monimutkaisuutta rajoittavat Schorfheiden (2011) mielestä laskennalliset rajoitteet. Koska monimutkaisten mallien ratkaisemiseen tarvittavat laskennalliset mahdollisuudet ovat kehittyneet, keskittyy viimeaikaisin tutkimus (Schorfheide 2011) johtamismenetelmien kehittämiseen, sokkiprosessien rikastamiseen sekä epälineaarisen dynamiikan tuottamiseen. Haasteina Schorfheide (2011) näkee parametriestimaattien heikkouden, virheet mallien johtamisessa, trendikäyttäytymisen erot aineiston ja mallin välillä, tilastollisen kelpoisuuden sekä luotettavuuden poliittisissa ennusteissa.

Heikoilla parametriestimaateilla tarkoitetaan, että samojen parametrien arvot eri tutkimuksissa voivat vaihdella paljonkin. Huomattava vaihteluväli parametriestimaateissa johtuu erilaisista mallien määrittelystä, havaintojen ja otosperiodin valinnasta, aineiston määrittelystä sekä uudelleen suuntaamisesta (Schorfheide 2011). Parametriestimaattien heikkous vaikuttaa mahdollisesti tarkasteltaviin kohteisiin, kuten päätelmiin suhdannevaihteluiden lähteistä, ennusteisiin sekä politiikkasuosituksiin.

Vaihtelut sokkien nopeudessa voivat olla todella suuria johtuen esimerkiksi rahan kysynnän vaihtelusta. Schorfheiden (2011) mukaan on tärkeä ymmärtää, että teknologian, julkisen kulutuksen ja rahapolitiikan sokkien endogeeninen välittyminen on monesti väärin määritelty, kuten myös eksogeeninen rahan kysyntäsokkikin.

Yleisenä ongelmana Schorfheide (2011) näkee sen, että DSGE-mallien trendit ja trendit todellisessa aineistossa eivät vastaa toisiaan. Useimmat DSGE-mallit tuottavat tiukat rajoitteet tasapainokasvu-uralle antaen ymmärtää, että tiettyjen reaaliuuttujien suhteiden tulisi tuottaa vakaata vaihtelua keskiarvon ympärillä. Monet näistä reaaliuuttujien suhteista esiintyvät kuitenkin aineistossa trendeinä. Schorfheiden (2011) mukaan tämä tuottaa todellisuuden vastaisen frekvenssin ja sen vaikutukset ilmenevät pysyviksi estimoiduissa sokkiprosesseissa.

Makroteorian ekonometrian ongelmana Schorfheide (2011) pitää teoreettisen johdonmukaisuuden ja empirian yhteen sovittamista. Johdonmukaiset ja teoreettisesti vahvat mallit, kuten DSGE-mallit asettavat tiukat rajoitteet vektoriaikasarjojen autokovariansseille. Tämä rajoittaa Schorfheiden (2011) mukaan mallin kykyä vastata makrotaloudellista aikasarjaa yhtä hyvin kuin esimerkiksi vähemmän rajoittava VAR-malli.

Jos otos sisältää havaintoja korkeasta sekä myös matalasta inflaatiosta, eikä otoksessa ole laajoja nollainflaation tai negatiivisen inflaation periodeja, niin minkälaiset inflaatioasteet uuskeynesiläisyys ja rahatalouden kitka tuottavat politiikan päättäjien vaihtoehdoiksi (Schorfheide

2011). Lisäksi DSGE-malleja on käytetty tuottamaan toimijoiden päätössäännöt ratkaisemalla intertemporaaliset optimointiongelmat olettaen, että politiikan muutokset eivät vaikuta tuotantoteknologioihin tai preferensseihin (Schorfheide 2011). Mallien taustalla olevat oletukset eivät siis vastaa aivan täysin reaali maailmaa. Esimerkiksi hinta- ja palkkajäykkyys, jotka Schorfheide (2011) nosti työssään esiin, voivat tuottaa virheellisiä ennusteita inflaatiolle. Ennusteita tehtäessä olisikin aiheellista miettiä mallin oletuksia ja rakenteellista rajoittuneisuutta tutkittavan ongelman kannalta. Mallin vallitsevien ominaisuuksien puitteissa realististen ennusteiden ja politiikkasuositusten tuottaminen voi olla kyseenalaista.

Viime vuosina on käyty laajaa keskustelua rahapolitiikan ja talouden volatilitietin, erityisesti arvopaperien hintojen volatilitietin, vuorovaikutuksesta. Ennen finanssikriisiä vallitsi yksimielisyys, että rahapolitiikan ei tulisi aktiivisesti etsiä keinoa arvopaperien hintojen vakauttamiseen. Sen aikaisen kannan mukaan missä tapauksessa tahansa vahva sitoutuminen inflaatiotavoitteeseen, joka toteuttaa Taylorin periaatteen, tasapainottaa arvopaperimarkkinat automaattisesti. Taustalla oli Christianon, Trabandtin ja Walentinin (2010) mukaan ajatus, että arvopaperien hintakupla on pohjimmiltaan kysyntäkupla. Oletuksena oli, että kuplan kasvamiseen vaikuttaa tulevaisuuden optimismi eikä pääasiallisesti vallitseva todellinen kehitys. Kuplan, jota kasvattaa kysyntä, tulisi nostaa tuotantokustannuksia ja näin inflaatiota. Poliitiikan päättäjät, jotka reagoi voimakkaasti inflaatioon, automaattisesti nostaa korkotasoa ja näin ollen auttaa arvopaperien hintojen vakauttamisessa.

Kun Christiano ym. (2010) mallinsivat edellä esitetyn skenaarion, he päätyivät tulokseen, että kupla ei välttämättä liity hintojen nousuun. Jos tulevaisuuden optimismi koskee odotuksia kustannuksia säästävästä teknologiasta, eteenpäin katsovat hinnan asettajat voivat itse asiassa alentaa hintojaan. Tekijöiden mukaan asian täydellisempi tutkiminen vaatisi kuitenkin yksityiskohtaisemman mallin, mielellään sellaisen, joka huomioisi myös rahoitukselliset muuttujat, kuten osakemarkkinat.

Kuplien ilmetessä nousee jälleen kysymys DSGE-mallien oletusten mielekkyydestä. Jos talouden agentit toimivat rationaalisesti, kuten malleissa on oletuksena, ei hintakuplien muodostumisen pitäisi olla mahdollista, koska kuplaa kasvattaa toimijoiden epärationaalinen käyttäytyminen. Kuplienkin tapauksessa inhimillisen käyttäytymisen mukaan tuominen malliin ja anomalioiden esiintymisen mahdollisuus tekisivät malleista paremmin todellisuuteen pohjaavia.

5. Yhteenveto

Tässä tutkimuksessa on selvitetty DSGE-mallien rakennetta, korkojen aikarakenteeseen vaikuttavia tekijöitä sekä DSGE-mallien hyödyntämistä ja soveltuvuutta taloudellisten ennusteiden luomisessa. Mallien rakennetta on tarkasteltu viimeaikaisten DSGE-tutkimusten valossa ja pyritty löytämään mallien rakenteesta tiettyjä yhtäläisyyksiä, jotka osaltaan selittäisivät mallien suosiota nykyaikaisen makrotalousteorian keskeisimpinä ennustemalleina. Tärkeiksi kysymyksiksi ovat nousseet myös mallien stokastisuudesta juontuva sokkien vaikutus korkojen aikarakenteeseen sekä mallien soveltuvuus ennustuskäyttöön verrattuna kilpaileviin malleihin.

Mallien rakenne mahdollistaa taloudellisten vaikutusten tarkastelun läpi koko talouden ja mallien sovellettavuuden vuoksi niillä voidaan tarkastella hyvin monenlaisia taloudellisia tai poliittisia kysymyksiä. Viimeaikaisessa kirjallisuudessa kotitalouden preferenssit on monesti mallinnettu niin sanottuina Epstein-Zin-Weil-preferensseinä, joiden merkittävin hyöty rahoituksen DSGE-malleille on niiden kyky saada mikä tahansa riskin lähde heijastumaan arvopaperien hintoihin. Myös kotitalouksien pääoman sopeuttamiskustannukset ovat elementti, jota käytetään monissa malleissa. Ne tuottavat vaihteluita pääoman tuottoasteeseen ja tekevät siitä yhteneväisemmän empirian kanssa. Yritysten sopeuttamiskustannukset tekevät hinnoista jäykkiä. Aiemmassa kirjallisuudessa on osoitettu, että endogeeninen rahan tarjonta yhdistettynä nimellisiin jäykkyyksiin auttaa selittämään rahan sekä reaalisten ja nimellisten muuttujien välistä suhdetta. Jäykemmät hinnat tuottavat myös ajallista syklisyyttä malleihin. Taylorin sääntö uuskeynesiläisessä mallissa merkitsee, että inflaatio-odotusten nousu laukaisee sarjan tapahtumia, jotka lopulta johtavat todellisen inflaation lieventymiseen. Kuitenkin jos mallissa on oletettuna rationaaliset odotukset, eivät inflaatio-odotukset nouse politiikan noudattaessa Taylorin periaatetta. Taylorin periaate edistää siis stabiiliutta, kun taas sen puuttuminen tekee talouden alttiiksi itseään ruokkivien odotusten vaihtelulle.

Tutkimuksissa, joissa malliin sisällytetään korkojen aikarakenne, vahvistuu reaalitaloudellisten muuttujien reagointi rahapolitiikkaan. Toisaalta malli, johon ei ole sisällytetty kulutustottumuksia eikä suuria yhtämittäisiä sokkeja, epäonnistuu tuottokäyrän lyhyen pään dynamiikan esittämisessä. Korkojen aikarakenne voi vahvistaa tai vaimentaa sokkien vaikutusta inflaatioon ja tuotantoon, riippuen sokin tyypistä. DSGE-kirjallisuuden mukaan rahapolitiikka on pääasiallinen tekijä tuottokäyrän määräytymisessä. Odotushypoteesi pätee yleensä kirjallisuuden malleissa onnistuen kuvaamaan korkojen dynamiikkaa erittäin hyvin, etenkin De Graeven, Emirisin ja Woutersin (2007) mallissa. Korkojen aikarakenteen sisältämät mallit onnistuvat vastaamaan empiirisiä havaintoja

sekä erityisesti korkojen ja makrotalouden muuttujien välisiä dynaamisia suhteita hyvin. Keskeisimpiä korkoihin vaikuttavia sokkeja ovat kirjallisuudessa muutos inflaatiotavoitteessa, teknologiset sokit, työn tarjontasokit sekä yritysten kiinteisiin kustannuksiin vaikuttavat sokit. Aikarakenteen sisältävän mallin puolesta puhuu myös mm. Zagaglian (2009) tulos, jonka mukaan kyseinen malli ennustaa sekä tuotannon että inflaation paremmin kuin tavanomainen uuskeynesiläinen malli.

DSGE-mallien käyttö talouden ennusteiden laatimiseen ja kokoamiseen on viimeisten vuosikymmenten aikana lisääntynyt merkittävästi. DSGE-malleja on pidetty parempina ennustemalleina kuin löysemmin parametrisoituja malleja, kuten VAR-malleja. Tästä johtuen DSGE-mallien ennustetarkkuuden on todettu olevan paremmalla tasolla kuin kilpailevien mallien. Toinen syy, miksi DSGE-malleja suositaan ennustamisessa on se, että ne kestävät niin sanotun Lucas-kritiikin, mikä mahdollistaa poliittisten muutosten vaikutusten arvioimisen. DSGE-mallien vertailu kirjallisuuden kilpaileviin ennustemalleihin on tuottanut suotuisia tuloksia DSGE-mallien kannalta. DSGE-mallit tuottavat erityisesti hyviä yhden muuttujan piste-ennusteita ja onnistuvat monissa tutkimuksissa hyvin esimerkiksi inflaation, tuotannon ja kulutuksen ennustamisessa. Myös korkoja ennustettaessa DSGE-malli osoittaa paremmuutensa verrattuna kilpaileviin malleihin, erityisesti silloin, kun tarkastelujakso on pidempi. Muutenkin pidemmät tarkastelujaksot ennustamisessa ovat DSGE-malleille suotuisampia. Vertailujen valossa DSGE-mallit näyttäisivät olevan siis varsin kilpailukykyisiä ennustemalleja, mikä osaltaan selittää niiden suosiota keskuspankkien ja taloudellisten tutkimuslaitosten ennustemalleina.

Vaikka DSGE-mallit onnistuvat hyvin korkojen dynamiikan kuvaamisessa ja kestävät vertailun kilpaileviin ennustemalleihin, tosiasiaa kuitenkin millään nykyaikaisella ennustemallilla ei kyetty ennustamaan esimerkiksi vuonna 2007 alkanutta finanssikriisiä. Mallien heikkoudeksi voidaankin tässä valossa laskea liian matemaattinen lähestymistapa, realismisuutta rajoittavat taustaoletukset ja inhimillisen käyttäytymisen vaikutuksen puuttuminen. Tulevaisuudessa mallien kehityssuunta voisikin olla behavioraalista taloustiedettä hyväksi käyttävä, sillä nykymuotoisilla malleilla tiettyjen anomalioiden, kuten hintakuplien esiintyminen, on poissuljettu. Mikäli DSGE-mallien suosio ennustemalleina jatkuu, niiden kehitystä tulisi suunnata käyttötarkoitus silmällä pitäen kohti realistisempaa rakenteellista mallintamista. Tutkimusalan kirjallisuus on viime aikoina ollut varsin tuotteliasta ja viimeistä sanaa DSGE-mallien kehittämisen osalta ei ole vielä sanottu. Menneistä epäonnistumisista on toivottavasti opittu ja mallien edelleen kehittäminen jatkuu vielä pitkään.

LÄHDELUETTELO

Adolfson, Malin, Linde, Jesper & Villani, Mattias (2005). Forecasting Performance of an Open Economy DSGE Model. http://www.riksbank.se/upload/WorkingPapers/WP_190.pdf. Elokuu 2011.

Amisano, Gianni & Tristani, Oreste (2009). A DSGE Model of Term Structure with Regime Shifts. http://www.ecb.int/events/conferences/shared/pdf/wgem/Session2_Amisano_Paper.pdf?9e34004276f1a1f5a352fe7b14a93b20. Elokuu 2011.

Andreasen, Martin M. (2011a). An Estimated DSGE Model: Explaining Variation in Nominal Term Premia, Real Term Premia and Inflation Risk Premia. http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1604505. Elokuu 2011.

Andreasen, Martin M. (2011b). Explaining Macroeconomic and Term Structure Dynamics Jointly in a Non-linear DSGE Model. http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1262201. Elokuu 2011.

Brealy, Richard A., Myers, Stewart C. & Marcus, Alan J. (2004). Fundamentals of Corporate Finance. 4th ed. McGraw-Hill

Christiano, Lawrence J., Trabandt, Mathias & Walentin, Karl (2010). DSGE Models for Monetary Policy Analysis. <http://www.nber.org/papers/w16074>. Tammikuu 2012.

Christoffel, Kai, Coenen, Gunter & Warne, Anders (2010). Forecasting with DSGE Models. <http://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpwps/ecbwp1185.pdf>. Elokuu 2011.

de Antonio Liedo, David (2011). What are shocks capturing in DSGE modeling? Noise versus Structure. https://editorialexpress.com/cgi-bin/conference/download.cgi?db_name=CEF2011&paper_id=561. Tammikuu 2012.

De Graeve, Ferre, Emiris, Marina & Wouters, Raf (2007). A Structural Decomposition of the US Yield Curve. http://www.norges-bank.no/Upload/63454/Ses_31_Graeve,Emiris_Wouters_A_Structural_Decomposition.pdf. Elokuu 2011.

Del Negro, Marco & Schorfheide, Frank (2003). Take Your Model Bowling: Forecasting with General Equilibrium Models. *Economic Review*, Federal Reserve Bank of Atlanta, Fourth Quarter 2003.

Emiris, Marina (2006). The Term Structure of Interest Rates in a DSGE Model. NBB Working Paper No. 88 <http://www.nbb.be/doc/ts/publications/wp/wp88En.pdf>. Elokuu 2011.

Faust, Jon (2008). Comments on Piazzesi and Schneider's "Bond Positions, Expectations, and the Yield Curve". <http://www.frbatlanta.org/filelegacydocs/wp0804.pdf>. Tammikuu 2012.

- Fernandez-Villaverde, Jesus (2009). The Econometrics of DSGE Models. <http://www.nber.org/papers/w14677>. Tammikuu 2012.
- Fernandez-Villaverde, Jesus & Rubio-Ramirez, Juan F. (2006). Our Research Agenda: Estimating DSGE Models. <http://economics.sas.upenn.edu/~jesusfv/red2.pdf>. Tammikuu 2012.
- Honkatukia, Juha (2009). Yleisen tasapainon mallien käyttö työllisyyden kehityksen ennakkoinnissa ja talouspolitiikan vaikutusten analysoinnissa. *Työpoliittinen Aikakauskirja*, 1/2009.
- Huntley, Jonathan & Miller, Eric (2009). Using DGSE Models. <http://www.cbo.gov/publication/41382>. Helmikuu 2012.
- Keynes, John M. (1935). The General Theory of Employment, Interest, and Money. <http://cas.umkc.edu/economics/people/facultyPages/kregel/courses/econ645/Winter2011/GeneralTheory.pdf>. Maaliskuu 2012.
- Kydland, Finn E. & Prescott, Edward C. (1982). Time to Build and Aggregate Fluctuations. *Econometrica*, vol. 50, 1345-1370.
- Marsal, Ales (2011). The Term Structure of Interest Rates in Small Open Economy DSGE Model. IES Working Paper: 7/2011 <http://ies.fsv.cuni.cz/sci/publication/show/id/4277/lang/en>. Elokuu 2011.
- Marzo, Massilimiano, Söderström, Ulf & Zagaglia, Paolo (2008). The Term Structure of Interest Rates and the Monetary Transmission Mechanism. http://www2.dse.unibo.it/marzo/research/TermStructure_0802.pdf. Elokuu 2011.
- Newby, Elisa, Railavo, Jukka & Ripatti, Antti (2011). Estimoitu yleisen tasapainon malli ennustekäyttöön. *Euro & talous* 3/2011
- Obstfeld, Maurice & Rogoff, Kenneth, 1995. Exchange Rate Dynamics Redux. *Journal of Political Economy* 103, 624–660.
- Schorfheide, Frank (2011). Estimation and Evaluation of DSGE Models: Progress and Challenges. <http://www.nber.org/papers/w16781>. Tammikuu 2012.
- Smets, Frank & Wouters, Raf (2004). Forecasting with a Bayesian DSGE Model – An Application to Euro Area. European Central Bank, Working Paper Series No. 389 *Journal of Common Market Studies*, 42 no. 4, 841-867
- Tovar, Camilo E. (2008). DSGE Models and Central Banks. BIS Working Papers No. 258 <http://www.bis.org/publ/work258.htm>. Elokuu 2011.
- Wang, Mu-Chun (2008). Comparing the DSGE Model with the Factor Model: An Out of Sample Forecasting Experiment. <http://www.econstor.eu/bitstream/10419/19716/1/200804dkp.pdf>. Helmikuu 2012.
- Wickens, Mike (2009). What's Wrong with Modern Macroeconomics? Why its Critics Have Missed the Point. http://www.cesifo-group.de/portal/page/portal/CFP_CONF/CFP_CONF_2009/Conf-es09-Illing/Papers/es09_Wickens.pdf. Tammikuu 2012.

Zagaglia, Paolo (2009). What Drives the Term Structure in the Euro Area? Evidence from a Model with Feedback.
http://www2.ne.su.se/paper/wp09_12.pdf. Elokuu 2011.