

RAJOITTUNEEN RATIONAALISET ODOTUKSET SUHDANTEITA MALLINNETTAESSA

**Jyväskylän yliopisto
Kauppakorkeakoulu**

Kandidaatintutkielma

2020

**Tekijä: Kimmo Niinimäki
Oppiaine: Taloustiede
Ohjaaja: Esa Mangeloja**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO

TIIVISTELMÄ

Tekijä Kimmo Niinimäki	
Työn nimi Rajoittuneen rationaaliset odotukset suhdanteita mallinnettaessa	
Oppiaine Taloustiede	Työn laji Kandidaatintutkielma
Aika (pvm.) 30.4.2020	Sivumäärä 37
Tiivistelmä - Abstract <p>Vuonna 2007 alkunsa saanut maailmanlaajuinen talouskriisi ja käyttäytymistaloustieteen merkityksen kasvu ovat lisänneet keskustelua rationaalisista odotuksista, joihin nykyiset makrotalouden valtavirtamallit nojaavat. Yhdeksi vaihtoehtoiseksi lähestymistavaksi on ehdotettu rajoittuneen rationaalisia odotuksia, joiden avulla pyritään luomaan paremmin empiriaa vastaavia malleja. Tässä kandidaatintutkielmassa tarkastellaan kolmea tällaista, suhdannevaihteluita tuottavaa mallia. Tavoitteena on vastata kolmeen kysymykseen: miten rajoittuneen rationaalisia odotuksia on hyödynnetty, minkälaisia suhdannevaihteluihin liittyviä tuloksia on saatu ja onko rajoittuneen rationaalisten odotuksien käyttö perusteltua. Tutkielmassa huomataan, että keskenään hyvin erilaisilla oletuksilla ja ratkaisulla pystytään kehittämään suhdannevaihteluita tuottavia malleja. Pohdinnan tuloksena todetaan, että vaikka rajoittuneen rationaalisiiin odotuksiin liittyy ongelmia, kuten mikro-pohjasta johtamisen ja tarkoituksenmukaisten oletuksien valitsemisen haasteet, saa lähestymistapa monipuolista empiiristä tukea. Lopuksi ehdotetaan lisätutkimuksia aiheesta makrotaloudellisten mallien empiirisen vastaavuuden ja uskottavuuden parantamiseksi.</p>	
Asiasanat Rajoittunut rationaalisuus, rationaaliset odotukset, suhdannevaihtelut	
Säilytyspaikka Jyväskylän yliopiston kauppakorkeakoulu (JSBE)	

SISÄLLYS

	TIIVISTELMÄ	2
1	JOHDANTO.....	5
	1.1 Suhdannemallit ja rationaalisuus	5
	1.2 Tutkimusongelma ja -kysymykset	6
2	TEORIAKEHYS	8
	2.1 Yksinkertainen uusikeynesiläinen malli	8
	2.2 Mukautuvan rationaalisuuden tasapainon dynamiikka	9
3	AIKAISEMPI KIRJALLISUUS.....	13
	3.1 Yleistä	13
	3.2 De Grauwen (2012) malli ja sen laajennukset	13
	3.2.1 Pohjamalli	13
	3.2.2 Pankkisektori.....	16
	3.2.3 Kahden valtion malli.....	17
	3.2.4 Tulokset.....	18
	3.3 Jaimovichin ja Rebelon (2007) malli	20
	3.4 Westerhoffin ja Franken (2012) malli	22
4	POHDINTA	26
	4.1 Käsitellyt tutkimukset ja oikeiden oletuksien valitseminen.....	26
	4.2 Mikroperustat ja niiden todenmukaisuus.....	27
	4.3 Rajoittuneen rationaalisten odotuksien tarpeellisuus	28
5	LOPUKSI	31
	LÄHTEET	32
	LIITTEET.....	35
	Käytetyt yhtälöt.....	35

TAULUKOT

TAULUKKO 1 – YHTEENVETO LÄPIKÄYDYISTÄ TUTKIMUKSISTA 24

1 JOHDANTO

1.1 Suhdannemallit ja rationaalisuus

Vuonna 2007 puhjennut finanssikriisi ja sen seuraukset ovat osoittaneet, kuinka tärkeää on ymmärtää talouden toimintaa pitkän aikavälin lisäksi myös lyhyellä aikavälillä. Suhdannevaihtelut ovatkin yksi makrotaloustieteellisen tutkimuksen tärkeimmistä aiheista. Ilmiötä on pyritty mallintamaan eri keinoilla tavoitteena ymmärtää, miksi suhdannevaihteluita on olemassa ja miten erilaiset talouspoliittiset toimet vaikuttavat niihin.

Talous on pohjimmiltaan ihmisten välistä kanssakäymistä. Geiger (2016, 478) toteaaikin kaikkien taloustieteellisten teorioiden liittyvän psykologiaan niiden tehdessä oletuksia ihmisten käyttäytymisestä. Erityisesti suhdannemalleissa tärkeässä roolissa ovat agenttien muodostamat odotukset, joihin suhtautuminen on muuttunut historian saatossa useaan otteeseen (ks. esim. Geiger (2016)). Seuraavaksi käydään lyhyesti läpi tätä historiallista kehityskulkua, jotta suhdannemallien nykytilannetta on helpompi ymmärtää.

Ennen 1940-lukua käyttäytymiseen liittyviä tekijöitä käsiteltiin usein, kun pohdittiin taloussuhdanteita, mutta usein liittämättä niitä määritellysti ja tarkasti teoriaan. Esimerkiksi jo 1800-luvun lopulla John Stuart Mill yhdisti taloussyökiin eri vaiheet agenttien erilaisiin mielentiloihin. 1900-luvun alussa brittiläinen Alfred Marshall (1923, 249) nimesi luottamuksen ("confidence") yhdeksi suhdannevaihteluiden tekijäksi. Taloustieteellisessä kirjallisuudessa kuuluisaksi muodostuneen termin "eläimelliset odotukset" ("animal spirits") lanseerasi puolestaan John Maynard Keynes (1936, 161) kirjassaan *General Theory* määritellen sen sanoilla "a spontaneous urge to action rather than inaction", mikä jättää termin kuitenkin hieman epämääräiseksi. (Geiger, 2016, 479-484.) Keynes pitikin psykologisia tekijöitä merkittävinä suhdannevaihteluita selitettäessä (Lainé, 2018, 136.)

1940-luvulla taloustiede alkoi keskittyä psykologisten tekijöiden sijaan agenttien optimointiongelmien pitkälti Vilfredo Pareton valintateoriaan liittyvän työn ja muiden, kuten John Hicksin ja Paul Samuelsonin, vaikutuksesta. Teoria

rationaalista odotuksista nousi suosioon 1970-luvulla, ja on käytössä nykyisissä valtavirtaa hallitsevissa uusikeynesiläisissä suhdannemalleissa. Rationaaliset odotukset omaavan agentin voidaan määrittellä tuntevan talouden toimintatavan (tätä ohjaavan mallin) ja hyödyntävän kaikkea saatavilla olevaa informaatiota oikealla tavalla. (Geiger, 2016, 479.) Käytännössä tämä näkyy malleissa esimerkiksi niin, että rationaalinen agentti ei tee ennustuksissaan systemaattisia virheitä.

Viimeisen 25 vuoden aikana psykologisiin tekijöihin on kuitenkin alettu kiinnittää jälleen enemmän huomiota (Geiger, 2016, 479). Hagenhoffin ja Lustenhouwerin (2019, 2) mukaan vuosien 2007–2008 finanssikriisin jälkeen näkemystä, jonka mukaan homogeeniset rationaaliset odotukset eivät vastaa tarpeeksi hyvin havaittua käyttäytymistä, on tullut yhä suosittumpi. Ajan myötä on käynytkin selväksi, etteivät tällaiset mallit pysty tyydyttävästi selittämään monia talouden oleellisia ilmiöitä. Kokeellisissa tutkimuksissa on havaittu ihmisten käyttäytymisen poikkeavan merkittävästi mallien olettamasta puhtaan rationaalisesti optimoivien agenttien käyttäytymisestä. (Driscoll & Holden, 2014, 133.) Tärkeä syy rationaalisten odotuksien suosion taustalla onkin ollut se, että monet vaihtoehtoiset lähestymistavat tekevät malleista huomattavasti monimutkaisempia (Colander, Howitt, Kirman, Leijonhufvud & Mehrling, 2008, 238).

Hylkäämällä oletus homogeenisista rationaalista odotuksista pyritään parempaan empiiriseen vastaavuuteen ja selitysvoimaan niin makrotaloudellisten ilmiöiden kuin ihmisten käyttäytymisen tasolla. Tällaiset mallit voivat pohjautua esimerkiksi agenttien rajoittuneeseen rationaalisuuteen (bounded rationality), sopeutuvaan oppimiseen (adaptive learning) ja agenttitason käyttäytymiseen (agent-based model, ABM). Käyttäytymistaloustieteellistä näkökulmaa on kuitenkin kritisoitu väittämällä sen syyllistyvän ad hoc -virheeseen, joskin tämän kritiikin merkitys on vähentynyt, kun tutkimusnäyttöä ihmisten käyttäytymisestä on kertynyt (Driscoll & Holden, 2014, 133). Toisaalta myös perinteistä homogeenisiin, rationaalisiin ja optimoiviin agentteihin nojaavaa hypoteesia voidaan pitää vahvasti ad hocina, eikä niinkään käyttäytymistä koskeviin havaintoihin tai loogiseen päättelyyn perustuvana. Kyseistä hypoteesia noudattavat mallit ovat toki olleet aiemmin linjassa vallitsevien mikrotason olettamuksien kanssa, mutta käyttäytymistaloustieteellisen kirjallisuuden nousun myötä tämä perustelu on menettämässä merkitystään. (Colander ym., 2008, 236).

1.2 Tutkimusongelma ja -kysymykset

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan kirjallisuuskatsauksen muodossa, kuinka taloustieteellisessä kirjallisuudessa on käytetty rajoittuneen rationaalisia, eli puhtaasta rationaalisuudesta poikkeavia, odotuksia suhdannemalleissa. Erityisesti kiinnitetään huomiota siihen, millä eri tavoilla odotuksia on mallinnettu ja minkälaisiin tuloksiin valituilla oletuksilla on päästy. Tarkoituksena on selvittää, pystytäänkö rajoittuneen rationaalista odotuksia hyödyntävillä malleilla uskottavasti selittämään taloussuhdanteisiin liittyviä ilmiöitä.

Artikkeli etenee seuraavasti: Toisessa luvussa käydään läpi yksinkertainen uusikeynesiläinen malli ja mukautuvan rationaalisuuden tasapainon dynamiikan konsepti. Kolmannessa luvussa tarkastellaan, miten taloustieteellisessä kirjallisuudessa on käytetty rajoittuneen rationaalisia odotuksia suhdannemalleissa. Neljännessä luvussa pohditaan läpikäytyjen mallien eroja, oletuksien valitsemista ja rajoittuneen rationaalisten odotusten käsitteen relevanttiutta. Viidennessä luvussa tehdään yhteenveto, vedetään johtopäätökset ja annetaan jatkotutkimusehdotuksia.

2 TEORIAKEHYS

2.1 Yksinkertainen uusikeynesiläinen malli

Niin kutsutut DSGE-mallit ovat vallitseva teoriakehikko makrotaloustieteellisessä kirjallisuudessa (Blanchard, 2016, 39). Termi tulee sanoista "dynamic stochastic general equilibrium", ja mallit ovat siis dynaamisia ja stokastisia, eli satunnaiskulkua seuraavia, ja niillä on yleinen tasapainopiste. Ensimmäisiä tällaisia malleja olivat reaalisten suhdannevaihteluiden mallit (Real Business Cycle, RBC), ja nykyiset DSGE-mallit voidaan nähdä uusikeynesiläisten mallien (New Keynesian model, NK-malli) laajennuksina (Blanchard, 2016, 40). Perinteiset uusikeynesiläiset mallit nojaavat rationaaliin odotuksiin (Geiger, 2016, 479).

Koska uusikeynesiläiseen teoriaan pohjautuvat mallit dominoivat makrotaloudellista tutkimusta (Franke & Westerhoff, 2017, 1160) ja kyseinen teorian modifikaatioihin käsitellään myöhemmin, esitellään seuraavaksi yksinkertainen uusikeynesiläinen malli Driscollin ja Holdenin (2014) kuvausta noudattaen.

Yksinkertaiseen uusikeynesiläiseen malliin kuuluu kolme yhtälöä: Ensimmäinen on uusikeynesiläinen IS-käyrä, joka voidaan esittää seuraavassa muodossa:

$$\tilde{y}_t = E_t \tilde{y}_{t+1} - \alpha(r_t - E_t \pi_{t+1} - r_t^*) + \varepsilon_t^{IS}, \quad (1)$$

missä \tilde{y} on tuotantokuilu, eli toteutuneen tuotannon ja tasapainotuotannon \tilde{y}_t^* erotus, E_t viittaa odotuksiin sen jälkeisestä muuttujasta, r_t on korkotaso, π_t inflaatio, r_t^* tasapainokorko ja ε_t^{IS} kuvaa tuotannon eksogeenisiä shokkeja (Driscoll & Holden, 2014, 134-135). Parametri α kuvaa odotetun reaalikoron ja tasapainokoron erotuksen vaikutusta tuotantoon. Yhtälön nojalla tuotantokuilu on siis odotetun tuotannon, odotetun reaalikoron ja tasapainokoron erotuksen sekä eksogeenisten shokkien funktio.

Toinen yhtälö on rahapolitiikan reaktiofunktio (Monetary Policy Reaction Function):

$$r_t = r_t^* + E_t \pi_{t+1} + \theta_\pi(\pi_t) + \theta_y(\tilde{y}_t) + \varepsilon_t^{MP}, \quad (2)$$

missä ε_t^{MP} kuvaa vastaavasti korkotason eksogeenisiä shokkeja (Driscoll & Holden, 2014, 134-135). Parametrit θ_π ja θ_y kuvaavat keskuspankin rahapolitiikan reaktion voimakkuutta toteutuneeseen inflaation ja tuotantokuiluun. Korkotaso on siis tasapainokoron, odotetun ja toteutuneen inflaation, toteutuneen tuotantokuilun ja eksogeenisten shokkien funktio. Yhtälö on johdettu niin kutsutusta Taylorin säännöstä tasapainoinflaation ollessa nolla (Driscoll & Holden, 2014, 134-135), ja sitä kutsutaan myös Phillipsin käyräksi (Franke & Westerhoff, 2017, 1163).

Kolmantena yhtälönä on uusikeynesiläinen AS-käyrä:

$$\pi_t = \beta E_t \pi_{t+1} + \gamma(\tilde{y}_t) + \varepsilon_t^{AS} \quad (3)$$

missä ε_t^{AS} kuvaa inflaation eksogeenisiä shokkeja (Driscoll & Holden, 2014, 134-135). Parametrit β ja γ kuvaavat inflaatio-odotusten ja tuotantokuilun vaikutuksia inflaatioon. AS-käyrä esittää inflaation siis inflaatio-odotusten, tuotantokuilun ja eksogeenisten shokkien funktiona.

On tärkeää huomata, että koska odotukset ovat rationaaliset ja agentit tuntevat mallin, ovat muuttujat riippuvaisia vain kyseisen periodin aikaisesta tilanteesta sekä odotetuista ja toteutuneista eksogeenisistä shokeista. Toisin sanoen yllättävät shokit vaikuttavat vain niiden toteutumisaikankohdan tilanteeseen, eli niiden vaikutukset ovat välittömiä ja nopeasti ohimeneviä, mikä ei selvästikään vastaa todellisuutta. Tästä ja muista ongelmista huolimatta mallilla on pystytty selittämään monia rahapolitiikan vaikutuksia reaalityöelämään. (Driscoll & Holden, 2014, 135, 138.)

Yksi uuskeynesiläisen mallin vahvuuksista on ollut se, että sillä on mikroperusta. IS-käyrä (1) ja Phillipsin käyrä (2) on johdettu rationaalisista oletuksista ja populaatiota edustavan agentin (representative agent) optimointiongelmien optimaalisista ratkaisutavoista. (Franke & Westerhoff, 2017, 1163.) Kuten aiemmin todettiin, tämä mikropohja on nykykirjallisuuden valossa kuitenkin kyseenalainen.

2.2 Mukautuvan rationaalisuuden tasapainon dynamiikka

Agenttien odotuksien heterogeenisuus on saanut viimeisten parin vuosikymmenen aikana kasvavassa määrin empiiristä tukea (kirjallisuuskatsauksista ks. esim. Lux ja Zwinkels (2018)) (Hommes, 2018, 37). Samaan aikaan rajoittuneen rationaaliin, heterogeenisiin agentteihin ja heidän odotuksiinsa perustuva mallintaminen on kasvattanut suosiotaan. Tätä kehitystä pohjusti Brockin ja Hommesin (1997) kehittämä teoriapohja, jossa agentit vaihtavat käyttämäänsä ennustusmenetelmää niiden historiallisen ennustuskyvyn perusteella. (Hommes, 2018, 31-32). Koska osassa myöhemmin esiteltävissä malleissa hyödynnetään kyseistä teoriapohjaa, esitellään sitä seuraavaksi hieman tarkemmin.

Brockin ja Hommesin (1997) artikkelissa esitellään uutena konseptina mukautuvan rationaalisuuden tasapainon dynamiikka (adaptive rational equilibrium dynamics) eli ARED. Tässä agentit muodostavat kullakin periodilla odotuksensa joidenkin mallin endogeenisten muuttujien tulevista arvoista valitsemansa ennustusmenetelmän avulla. Näitä erilaisia tapoja ennustaa on jokaisella periodilla valittavana sama äärellinen määrä. Agentit tekevät valintansa diskreettisen valinnan mallin (discrete choice model, DCM), joka antaa kullekin vaihtoehdolle todennäköisyyden tulla valituksi, mukaisesti. Nämä todennäköisyydet perustuvat ennustusmenetelmien historialliseen suoriutumiseen. Agenttien muodostamat odotukset vaikuttavat heidän taloudellisiin päätöksiinsä, jotka vuorostaan vaikuttavat seuraavalla periodilla toteutuviin muuttujien arvoihin

mallin tasapainoyhtälöiden mukaisesti. ARED muodostuu siis ennustusmenetelmien valitsemisen ja endogeenisten tasapainoyhtälöiden välisestä dynamiikasta. (Brock & Hommes, 1997, 1059-1060, 1063-1064.)

Seuraavaksi esitellään kontekstina tavanomainen kysynnän ja tarjonnan laukien luoma lukinseittimalli (cobweb model), jossa AREDia sovelletaan. Malli kuvaa tasapainohinnan dynamiikan tuotteelle, jota ei voi varastoida ja jonka tuottamiseen kuluu yksi periodi. (Brock & Hommes, 1997, 1062.) Toisin sanoen tuottajat joutuvat tekemään tuotantopäätöksensä periodin hintaa koskevan ennustuksensa perusteella. Brock ja Hommes (1997, 1062) esittelevät tarjontafunktion seuraavassa muodossa:

$$S(p_{t+1}^e) = \operatorname{argmax}\{p^e q - c(q)\} = (c')^{-1}(p_{t+1}^e), \quad (4)$$

missä p_t^e on tuottajan periodin t alussa tekemä hintaennustus kyseiselle periodille, p_t on toteutunut hinta ajanhetkellä t , q on tuotantomäärä ja c on tuotantokulujen funktio. Tuottajat yrittävät siis maksimoida voittonsa. Mikäli tuottajat ovat homogeeninen joukko, heidän hintaennustuksensa muodostuu samasta menneiden hintojen funktiosta, siis $p_{t+1}^e = H(\vec{P}_t)$, missä $\vec{P}_t = (p_t, p_{t-1}, \dots, p_{t-L})$. (Brock & Hommes, 1997, 1062.)

Tuotteen tasapainohinta määräytyy puolestaan yhtälöstä

$$D(p_{t+1}) = S\left(H(\vec{P}_t)\right), \quad (5)$$

missä D on kysyntäfunktio. Kun kysyntäfunktion oletetaan olevan aidosti vähenävä ja tarjontafunktion aidosti kasvava, saadaan

$$p_{t+1} = D^{-1}\left(S\left(H(\vec{P}_t)\right)\right), \quad (6)$$

missä D^{-1} on kysyntäfunktion käänteisfunktio. (Brock & Hommes, 1997, 1062.)

Seuraavaksi muokataan mallia niin, että agenteilla on heterogeeniset odotukset tulevista hinnoista. Valittavana on K kappaletta eri ennustusmenetelmiä H_1, H_2, \dots, H_K . Kutakin ennustusmenetelmää käyttävien agenttien osuuden hetkellä t ilmaisee muuttuja $n_{j,t}$, missä $1 \leq j \leq K$. Nyt kokonaistarjonta muodostuu eri ennustusmenetelmiä käyttävien agenttiryhmien tarjonnan summasta, jolloin tasapainohinta määräytyy yhtälöstä

$$D(p_{t+1}) = \sum_{j=1}^K n_{j,t}(p_t, \mathcal{H}(\vec{P}_{t-1})) S\left(H_j(\vec{P}_t)\right) \quad (7)$$

missä $\mathcal{H}(\vec{P}_{t-1})$ on vektori eri menetelmien ennustuksista $(H_1(\vec{P}_{t-1}), H_2(\vec{P}_{t-1}), \dots, H_K(\vec{P}_{t-1}))$. (Brock & Hommes, 1997, 1062.) Yhtälön perusteella kutakin ennustusmenetelmää käyttävien agenttien osuus $n_{j,t}$ on tuotteen

toteutuneen hinnan ja eri menetelmien pohjalta edellisperiodilla muodostettujen odotuksien funktio. Seuraavaksi tämä funktio määritellään tarkemmin.

Koska kunkin ennustusmenetelmää houkuttelevuutta U_j ("fitness measure") arvioidaan niiden historiallisen suoriutumisen perusteella, täytyy valita tätä mittaava julkiseen tietoon pohjautuva mittari. Tässä esimerkissä mittarina käytetään toteutunutta nettotuottoa π_j . Ennustusmenetelmän $H_j(\vec{P}_t)$, $1 \leq j \leq K$, realisoituneet nettotuotot ovat

$$\pi_j(p_{t+1}, H_j(\vec{P}_t)) = p_{t+1}S(H_j(\vec{P}_t)) - c(S(H_j(\vec{P}_t))) - C_j, \quad (8)$$

missä p_{t+1} on toteutunut tasapainohinta, c tuotantokulujen funktio ja $C_j \geq 0$ mahdollinen maksu informaatiosta, jonka ennustusmenetelmä H_j :n käyttäminen edellyttää. Kunkin menetelmän H_j :n houkuttelevuus U_j saadaan sen tuottamien ennustuksien perusteella tehtyjen tuotantopäätösten todellisten reaalituottojen painotettuna keskiarvona, siis

$$U_{j,t+1} = \sum_{k=0}^M w_{j,k} \pi_j(p_{t+1-k}, H_j(\vec{P}_{t-k})), \quad \sum_{k=0}^M w_{j,k} = 1. \quad (9)$$

(Brock & Hommes, 1997, 1063.)

Ennustusmenetelmän H_j :n valinneiden agenttien osuus populaatiosta periodilla $t + 1$ saadaan yhtälöistä

$$n_{j,t+1} = n_{j,t+1}(p_{t+1}, \mathcal{H}(\vec{P}_t)) = \exp[\beta U_{j,t+1}] / Z_{t+1} \quad (10)$$

ja

$$Z_{t+1} = \sum_{j=1}^K \exp[\beta U_{j,t+1}],$$

missä Z_{t+1} :lla normalisoidaan osuudet $n_{j,t+1}$ niin, että niiden summa yksi. Parametri β kuvaa valitsemishalukkuutta ("intensity of choice") eli sitä, kuinka innokkaasti agentit valitsevat houkuttelevimman ennustusmenetelmän. Kun β lähestyy positiivista äärettömyyttä, valitsevat kaikki agentit saman, suurimman houkuttelevuuden U menetelmän. (Brock & Hommes, 1997, 1063.) Jos puolestaan $\beta = 0$, ovat kaikki ennustusmenetelmät yhtä suosittuja niiden suoriutumisesta ja ajanhetkeestä riippumatta.

Yhtälöt (7) ja (10) muodostavat mukautuvan rationaalisuuden tasapainon dynamiikan eli AREDin Mallin dynamiikkaa voi kuvata seuraavasti: yhtälö (7) määrää tasapainohinnan p_{t+1} , joka vaikuttaa kunkin ennustusmenetelmän H_j houkuttelevuuteen $U_{j,t+1}$. Yhtälön (10) mukaisesti nämä houkuttelevuudet vaikuttavat kunkin agentin ennustusmenetelmän valintaan. Näin muodostuneet

odotukset seuraavan periodin tasapainohinnasta vaikuttavat puolestaan realisoituvaan tasapainohintaan p_{t+2} yhtälön (7) perusteella, jolloin tämä dynaaminen prosessi alkaa jälleen alusta. (Brock & Hommes, 1997, 1062-1063.)

3 AIKAISEMPI KIRJALLISUUS

3.1 Yleistä

Tässä luvussa käydään läpi kolme mallia, joissa kussakin odotuksien rajoittunut rationaalisuus on implementoitu eri tavalla ja jotka pohjautuvat erilaisiin perinteisiin malleihin. Aluksi käydään läpi De Grauwen (2012) malli, jossa heterogeenisten agenttien odotukset muodostuvat AREDin mukaisesti, ja kaksi sen laajennusta. Toinen on Jaimovichin ja Regbelon (2007) malli, joissa agentit ovat mallin variaatiosta riippuen joko optimistisia tai liiallisen itsevarmoja. Viimeisenä tarkastellaan Westerhoffen ja Franken (2012) mallia, jossa yrityksiä odotuksiin vaikuttavat vinoumat, laumavaikutus ja markkinatilanne. Kunkin mallin rakenne käsitellään siinä määrin, kuin se on tutkielman aiheen näkökulmasta relevanttia. Lisäksi tarkastellaan mallisimulaatioiden tuottamia tuloksia.

3.2 De Grauwen (2012) malli ja sen laajennukset

3.2.1 Pohjamalli

De Grauwen (2012) malli perustuu ajatukseen, että agenttien kognitiiviset kyvyt ovat rajoittuneita. Tällä tarkoitetaan sitä, että he eivät kykene selvittämään talouden käyttäytymisen määräävää mallia, minkä seurauksena yhdenkään agentin odotukset eivät ole täysin rationaaliset siten, että ne olisi optimoitu tämän taustalla olevan mallin mukaisesti. Agentit ovat kuitenkin siinä mielessä rationaalisia, että he ymmärtävät, etteivät heidän ennustuksensa ole täydellisiä, ja pyrkivät oppimaan virheistään. De Grauwen (2012) mallissa ei ole populaatiota edustavaa rationaalista agenttia, vaan se perustuu kahteen erilaista ennustusmenetelmää käyttävään, ajassa vaihtelevan kokoiseen agenttiryhmään: ensimmäinen ryhmä ennustaa inflaatiota ja tuotantokuilua niiden tasapainoarvoilla ja toinen ryhmä edellisellä periodilla realisoituneilla arvoilla. (De Grauwe, 2012, De Grauwe & Macchiarelli, 2015, 96 mukaan.) Seuraavaksi käymme tämän pohjamallin läpi siinä muodossa, kuin De Grauwe ja Macchiarelli (2015) sen esittävät.

Käsiteltävä malli pohjautuu luvussa 2.1 esitellyn uusikeynesiläisen mallin modifikaatioon. De Grauwe ja Macchiarelli (2015, 97) esittelevät mallin kolmeksi ensimmäiseksi yhtälöksi seuraavat: kokonaiskysyntäfunktio (AD) on

$$\tilde{y}_t = a_1 \check{E}_t \tilde{y}_{t+1} + (1 - a_1) \tilde{y}_{t-1} + a_2 (r_t - \check{E}_t \pi_{t+1}) + \varepsilon_t^{AD}, \quad (a_2 \leq 0) \quad (11)$$

kokonaistarjontafunktio (AS) on

$$\pi_t = b_1 \check{E}_t \pi_{t+1} + (1 - b_1) \pi_{t-1} + b_2 \tilde{y}_t + \varepsilon_t^{AS}, \quad (12)$$

ja Taylorin sääntö (TR) on

$$r_t = c_1(\pi_t - \pi_t^*) + c_2\tilde{y}_t + c_3r_{t-1} + \varepsilon_t^{TR}, \quad (13)$$

missä merkinnät ovat yhtäpitäviä teoriaosuudessa käytettyjen kanssa ja π_t^* on keskuspankin inflaatiotavoite. Yhtälössä (13) esiintyvät kertoimet c_1 , c_2 ja c_3 kertovat, kuinka voimakkaasti keskuspankki reagoi inflaation poikkeamaan tavoitteesta (c_1) ja toteutuneeseen tuotantokuiluun (c_2) sekä kuinka paljon mahdollista korkomuutosta pehmennetään (c_3). Yhtälössä (12) esiintyvä $0 \leq b_1 \leq 1$ viittaa inflaation vaikutuksen inertiaan eli hitauteen: mikäli $b_1 = 1$, ei inflaatiolla ole seuraaville periodeille ulottuvaa suoraa vaikutusta. (De Grauwe & Macchiarelli, 2015, 97.)

De Grauwen (2012) mallin AD-käyrä (11) on hyvin samanlainen teoriaosuudessa esitetyn IS-käyrän (1) kanssa. Yksi ero on yhtälöön (11) lisätty kerroin a_1 , jonka voi tulkita kuvastavan inertiaa tuotannossa vastaavasti kuin parametrin b_1 inflaatiossa. Mikäli $a_1 = 1$, ei inertiaa ole, ja yhtälö saa lähes identtisen muodon kuin teoriaosuuden IS-käyrä. Oleellinen ero on kuitenkin odotuksissa: kun rationaalsiin odotuksiin pohjautuvassa yhtälössä (1) odotuksia kuvaava termi E_t viittaa todellisiin odotusarvoihin, niin De Grauwen ja Macchiarellin (2015, 97) esittämän yhtälön (11) \tilde{E}_t koostuu mallin heterogeenisten agenttien muodostamista odotuksista.

AS-käyrä (12) vastaa yksinkertaisen NK-mallin AS-käyrää (3) täydennettynä inertiaparametrilla b_1 ja agenttien heterogeenisilla odotuksilla. Yhtälön (12) b_2 :lle voidaan antaa samanlainen tulkinta kuin yhtälön (3) termille γ eli tuotantokuilun vaikutus inflaatioon.

Viimeiseksi esitelty Taylorin sääntö (13) vastaa puolestaan yksinkertaisen NK-mallin rahapolitiikan reaktiokäyrää (2). π_t^* kuvaa inflaatiotavoitetta (De Grauwe & Macchiarelli, 2015, 97), jonka ollessa nolla yhtälön (13) termi $c_1(\pi_t - \pi_t^*)$ vastaa täysin termiä $\theta_\pi(\pi_t)$ yhtälössä (2), jossa tasapainoinflaatio on nolla. Sen sijaan, kun teoriaosuuden NK-mallissa tasapainokorko r_t^* ja tasapainoinflaatio ovat nolla, esiintyy De Grauwen (2012) mallissa eksplisiittisesti vain keskuspankin tavoiteinflaatio π_t^* ; toisaalta korkotason nähdään olevan talouden tasapainotilanteessa, eli kun $(\pi_t - \pi_t^*) = 0$ ja $\tilde{y}_t = 0$ (olettaen tasapainotuotantokuilun olevan nolla), odotusarvoisesti nolla myös De Grauwen (2012) mallin yhtälössä (13).

Muita eroja näissä yhtälöissä ovat Taylorin säännössä (13) esiintyvä keskuspankin rahapolitiikkaa pehmentävä termi c_2r_{t-1} ja yhtälön (2) inflaatio-odotusten vaikutus $E_t\pi_{t+1}$. Jälkimmäisen termin puuttuminen yhtälöstä (13) voidaan tulkita kahdella tavalla: Ensinnäkin keskuspankin rahapolitiikka voi olla puhtaasti reaktiivista siten, että asetettavaan korkotasoon vaikuttaa inflaation osalta eksplisiittisesti vain toteutunut taso, kun inflaatio-odotukset vaikuttavat ainoastaan epäsuorasti toteutuneen tuotantokuilun \tilde{y}_t kautta. Vaihtoehtoisesti yhtälön muotoilu voi viitata keskuspankin odotuksien fundamentaalisuuteen, jolloin

keskuspankki odottaisi inflaation palaavaan seuraavalla periodilla tasapainoarvoonsa: tällöin $E_t \pi_{t+1}$ olisi vain tasapainokorkotasoon vaikuttava vakio, joka tasapainokoron ollessa nolla voitaisiin jättää kirjoittamatta.

Seuraavaksi käydään läpi odotusten \check{E}_t muodostumista, joka perustuu teoriaosuudessa esiteltyyn Brockin ja Hommesin (1997) konseptiin. Agenteilla on valittavinaan kaksi eri ennustusmenetelmää sekä inflaatiolle että tuotantokuilulle: Ensimmäinen on fundamentaalinen ennustustapa, jossa odotus tuotantokuilulle on sen tasapainoarvo ja inflaatiolle keskuspankin asettama inflaatiotaivoite. Toinen vaihtoehto on ekstrapoloiva ennustusmenetelmä, jossa odotukset ovat edellisen periodin havaitut muuttujien arvot. Agentit valitsevat kullakin periodilla käytettävän ennustusmenetelmän erikseen tuotantokuilulle ja inflaatiolle käyttäen niiden historiallista tarkkuutta houkuttelevuuden mittarina U . (De Grauwe & Macchiarelli, 2015, 97.)

Kokonaisodotukset seuraavan periodin tuotantokuilulle muodostuvat siis seuraavasti:

$$\check{E}_t \tilde{y}_{t+1} = n_{f,t}^y \check{E}_t^f \tilde{y}_{t+1} + n_{e,t}^y \check{E}_t^e \tilde{y}_{t+1}, \quad (14)$$

missä fundamentaalinen ennustusmenetelmä on

$$\check{E}_t^f \tilde{y}_{t+1} = \tilde{y}^* \quad (15)$$

ja ekstrapoloiva

$$\check{E}_t^e \tilde{y}_{t+1} = \theta \tilde{y}_{t-1}, \quad (16)$$

missä \tilde{y}^* on tuotantokuilun tasapainoarvo, joka asetetaan nolllaksi. Kokonaisodotukset $\check{E}_t \pi_{t+1}$ inflaatiosta muodostuvat vastaavalla tavalla. Ekstrapoloivan ennustusmenetelmän yhtälössä (16) asetetaan $\theta = 1$, jolloin odotuksia kutsutaan naiiviksi; kun $\theta > 1$, odotuksia kutsutaan ekstrapoloituviksi, ja kun $\theta < 1$, niitä kutsutaan adaptoituviksi. (De Grauwe & Macchiarelli, 2015, 97-98.) Naiivit odotukset perustuvat siis edellisperiodilla havaittuihin arvoihin sellaisinaan. Pitäydymme kuitenkin alkuperäisessä termistössä, ja kutsumme ennustusmenetelmää (16) ekstrapoloivaksi.

Tuotantokuilun tapauksessa kutakin ennustusmenetelmää käyttävien agenttien osuus n saadaan yhtälöistä

$$n_{f,t}^y = \frac{\exp[\beta U_{f,j}^y]}{\exp[\beta U_{f,j}^y] + \exp[\beta U_{e,j}^y]} \quad (17)$$

ja

$$n_{e,t}^y = 1 - n_{f,t}^y, \quad (18)$$

missä

$$U_{f,j}^y = \sum_{k=0}^M w_k (\tilde{y}_{t-k-1} - \check{E}_{t-k-2}^f \tilde{y}_{t-k-1})^2 \quad (19)$$

ja

$$U_{e,j}^y = \sum_{k=0}^M w_k (\tilde{y}_{t-k-1} - \check{E}_{t-k-2}^e \tilde{y}_{t-k-1})^2. \quad (20)$$

Painot w_k ovat ajan suhteen geometrisesti väheneviä, eli $w_k = (p^k(1-p))$, missä $0 \leq p \leq 1$ on unohtamistaipumus ("degree of forgetfulness"). (De Grauwe & Macchiarelli, 2015, 98.) Tämän voidaan tulkita myös kuvastavan uskomusta, että talouden toimintamalli, joka on agenteille tuntematon, voi muuttua ajan kuluessa, jolloin agenttien on rationaalista painottaa uudempia havaintoja arvioidessaan ennustusmenetelmien suoriutumista.

Esitetyt De Grauwen (2012) mallin yhtälöt (17)–(20) vastaavat AREDin yhtälöitä (8)–(10). Yhtälön (17) nimittäjä vastaa yhtälön (20) normalisoivaa tekijää Z , ja historiallista suoriutumista mitataan tässä arvioiden virheiden neliösummalla.

3.2.2 Pankkisektori

De Grauwe ja Macchiarelli (2015) laajentavat De Grauwen (2012) mallia pankkisektorilla tutkiakseen sen vaikutuksia suhdannevaihteluihin ja rahapolitiikan seurauksiin. Tässä tutkielmassa keskitytään näistä vain ensimmäiseen. Seuraavaksi käydään läpi tätä laajennettua mallia.

Kokonaiskysyntä voidaan pilkkoa seuraavasti:

$$y_t = c_t + i_t, \quad (21)$$

missä kulutus c_t saadaan yhtälöstä

$$c_t = d_1 y_t + d_2 \check{E}_t y_{t+1} + (1 - d_1 - d_2) y_{t-1} + d_3 (r_t - \check{E}_t \pi_{t+1}) + v_t^c, \quad (d_3 < 0) \quad (22)$$

missä d_1 kuvaa rajakulutusalttiutta (marginal propensity of consumption) eli sitä, kuinka suuri osa tuloista kulutetaan, d_2 tuotantoon kohdistuvien odotusten vaikutusta kulutukseen, d_3 ennustetun reaalikoron vaikutusta kulutukseen ja v_t^c viittaa satunnaisiin kulutusshokkeihin. Yhtälön (22) kolmas termi kertoo, kuinka paljon edellisperiodin tuotanto vaikuttaa kulutukseen, ja vaikuttaa siten shokkien kulutukseen kohdistuvien vaikutusten keston. Lisäksi, koska $d_3 < 0$, reaalikoron vaikutus kulutukseen on negatiivinen. (De Grauwe & Macchiarelli, 2015, 99.)

Yhtälössä (21) esiintyvät investoinnit i_t määräytyvät yhtälöstä

$$i_t = e_1 \check{E}_t y_{t+1} + e_2 (r_t - \check{E}_t \pi_{t+1}) + v_t^i, \quad (e_2 < 0) \quad (23)$$

missä e_1 kuvaa tuotantoon kohdistuvien odotusten vaikutuksia ja e_2 reaalikoron negatiivista vaikutusta investointeihin ja v_t^i investointishokkeja (De Grauwe & Macchiarelli, 2015, 99). Tuotantokuilu \tilde{y} saadaan vastaavanlaisista yhtälöstä, kun kulutus c ja investoinnit i korvataan kulutuksen ja investointien erotuksilla niiden tasapainoarvoista eli muuttujilla \tilde{c} ja \tilde{i} .

Laajennetussa mallissa rahoituksenvälittäjät, eli pankkisektori, lainaavat kuluttajilta keräämiään varoja eteenpäin yrityksille, joilla ei ole muita keinoja hankkia rahoitusta. Nyt investoinnit muodostuvat seuraavasti:

$$i_t = e_1 \check{E}_t y_{t+1} + e_2 (p_t - \check{E}_t \pi_{t+1}) + v_t^i, \quad (e_2 < 0) \quad (24)$$

missä lainaamisen hinta p_t on keskuspankkikoron r_t ja pankkien korkomarginaalin x_t summa. Korkomarginaali x_t perustuu rahoituksen kiihtymisen teorian (financial accelerator theory) mukaisesti yrityksen oman pääoman määrään. Teorian mukaan pankit, jotka toimivat epätäydellisen tiedon varassa, tulkitsevat yrityksen oman pääoman määrän kasvun (laskun) vähentävän (lisäävän) riskiä, minkä seurauksena ne laskevat (nostavat) myönnettävien yrityslainojensa korkomarginaalia. Pankkien lainanantoa puolestaan rajoittaa vakioksi asetettu oma-varaisuusaste (equity ratio) eli oman pääoman suhde taseeseen. (De Grauwe & Macchiarelli, 2015, 99-100.)

De Grauwe ja Macchiarelli (2015, 105-106) tarkastelevat vielä erikseen edelleen laajennettua mallia, jossa pankit omistavat yritysten osakkeita. Näiden arvo määräytyy perinteisellä Gordonin osinkomallilla siten, että tulevien osinkojen odotettu arvo (osinkojen kasvuvauhdin oletetaan olevan nolla) määräytyy agenttien seuraavan periodin tuotantoa ja inflaatio koskevista odotuksista. Diskonttaustekijänä käytetään keskuspankin asettaman korkotason ja kirjallisuuden perusteella määritetyn 5% riskipreemion summaa. (De Grauwe & Macchiarelli, 2015, 106-107.)

3.2.3 Kahden valtion malli

De Grauwe ja Ji (2017) muokkaavat De Grauwen (2012) perusmallia puolestaan siten, että se koostuu kahdesta toistensa kanssa kauppaa käyvistä valtiosta. Tutkijat tarkastelevat kahta erilaista tilannetta: ensimmäisessä valtiot kuuluvat samaan rahaliittoon, jolloin niillä on yhteinen valuutta ja keskuspankki, ja toisessa mallinnuksessa kummallakin valtiolla on itsenäinen rahapolitiikka eli oma keskuspankki ja valuutta. (De Grauwe & Ji, 2017, 388.) Seuraavaksi käsittelemme tarkemmin De Grauwen ja Jin (2017) tekemiä muokkauksia ja oletuksia.

Mallissa valtioilla on omat taloudelliset muuttujat, kuten tuotantokuilu \tilde{y}_t^j , missä indeksi j viittaa tarkasteltavaan valtioon. Yksinkertaisuuden vuoksi yhtälöiden vastaavat parametrit oletetaan kuitenkin yhtä suuriksi. Kokonaiskysyntäfunktiot ovat likimain ja kokonaistarjontafunktiot täysin samanlaiset kuin pe-

rusmallin vastaavat yhtälöt (11) ja (12). AD-käyrän (11) yhtälöön on lisätty vaihtotasetta kuvaava termi $(x_t^j - m_t^j)$, missä x_t^j on valtion j vienti ja m_t^j tuonti. Molemmat muuttujat kuvaavat erotusta tasapainotilasta. Lisäksi oletetaan, että rajatuontialttius (import propensity) m on molemmille valtioille sama vakio ja valtiot käyvät kauppaa vain toistensa kanssa. (De Grauwe & Ji, 2017, 389-390.) Nyt ensimmäisen valtion muuttujat x_t^1 ja m_t^1 voidaan merkitä $x_t^1 = m\tilde{y}_t^2$ ja $m_t^1 = m\tilde{y}_t^1$, ja vastaava pätee myös toiselle valtiolle. Tällöin De Grauwen ja Jin (2017, 389, 391) mallin kokonaiskysyntäfunktiot voidaan kirjoittaa muodossa

$$\tilde{y}_t^1 = \frac{a_1\check{E}_t\tilde{y}_{t+1}^1}{1+m} + \frac{(1-a_1)\tilde{y}_{t-1}^1}{1+m} + \frac{a_2(r_t^1 - \check{E}_t\pi_{t+1}^1)}{1+m} + \frac{m\tilde{y}_t^2}{1+m} + \frac{\varepsilon_t^1}{1+m} \quad (25)$$

ja

$$\tilde{y}_t^2 = \frac{a_1\check{E}_t\tilde{y}_{t+1}^2}{1+m} + \frac{(1-a_1)\tilde{y}_{t-1}^2}{1+m} + \frac{a_2(r_t^2 - \check{E}_t\pi_{t+1}^2)}{1+m} + \frac{m\tilde{y}_t^1}{1+m} + \frac{\varepsilon_t^2}{1+m}. \quad (26)$$

Kun valtiot ovat rahapoliittisesti itsenäisiä, keskuspankkien asettamat nimelliskorkotasot määräytyvät Taylorin säännön mukaisesti (De Grauwe & Ji, 2017, 391) vastaavasti kuin perusmallissa yhtälön (13) perusteella. De Grauwen ja Jin (2017, 390) mallin variaatiossa, jossa valtiot kuuluvat samaan rahaliittoon, yhteisen keskuspankin asettama korkotasot määräytyy seuraavasti:

$$r_t = c_1(\bar{\pi}_t - \pi_t^*) + c_2\bar{y}_t + c_2r_{t-1} + \varepsilon_t^{TR}, \quad (27)$$

missä $\bar{\pi}_t = \frac{1}{2}(\pi_t^1 + \pi_t^2)$, $\bar{y}_t = \frac{1}{2}(\tilde{y}_t^1 + \tilde{y}_t^2)$. Lisäksi sekä yhden että kahden keskuspankin mallivariaatiossa tasapainoinflaatio $\pi_t^* = 0$ (De Grauwe & Ji, 2017, 390).

Lopuksi on syytä huomioda vielä kaksi tehtyä oletusta: Ensinnäkin De Grauwen ja Jin (2017, 391) mallin kokonaiskysyntä- ja -tarjontafunktioissa sekä Phillipsin käyrässä (27) esiintyvät satunnaisia shokkeja kuvaavat termit ovat normaalisti jakautuneita keskiarvon ollessa nolla ja varianssin vakio. Toiseksi kahden keskuspankin variaatiossa jätetään huomioimatta valuuttojen välisen vaihtokurssin muutokset (De Grauwe & Ji, 2017, 391).

3.2.4 Tulokset

Seuraavaksi tarkastellaan järjestyksessä De Grauwen ja Macchiarellin (2015) pankkisektorilla täydennetyllä ja De Grauwen ja Jin (2017) kahden valtion mallilla saatuja tuloksia. Aluksi käsitellään kuitenkin lyhyesti parametrien valintaa ja esitellään tulosten tarkastelua helpottavaa termistöä.

Sekä De Grauwen ja Macchiarellin (2015) että De Grauwen ja Jin (2017) mallissa käytettävät parametrit on kalibroitu vastaamaan kirjallisuudessa käytettyjä arvoja. Lisäksi valitaan unohtamistaipumus $p = 0.5$ ja valitsemishalukkuus $\beta = 1$. Tulosten tarkastelemista varten eläimelliset vaistot ("animal spirits") määritel-

lään indeksiksi, joka kuvaa optimistien määrää suhteessa pessimisteihin tuotantokuilua ennustettaessa. Indeksien saadessa maksimiarvonsa ovat kaikkien odotukset seuraavan periodin tuotantokuilusta yli sen tasapainoarvon, toisin sanoen kaikki ovat optimistisia. Vastaavasti jos indeksi saa minimiarvonsa, ovat kaikkien odotukset tuotantokuilusta alle sen tasapainoarvon, eli kaikki ovat pessimistisiä. (De Grauwe & Macchiarelli, 2015, 101-102; De Grauwe & Ji, 2017, 396-397, 411.)

De Grauwen ja Macchiarellin (2015) pankkisektorilla täydennetyt mallin simulaation tuloksissa havaitaan merkittävää syklisyyttä tuotantokuilussa, mitä selittää oleellisesti endogeeniset, trendinomaiset vaihtelut eläimellisissä vaistoissa. Kyseisen indeksin jakauma ei ole normaali, vaan sen päät (kaikki agentit joko pessimistisiä tai optimistisia) ovat selkeästi ylikorostuneita. Odotukset ovat itseään toteuttavia: hallitsevat optimistiset (pessimistiset) odotukset aiheuttavat tuotannon kasvua (laskua). Agenttien jatkuva ennustusmenetelmien arvioiminen ja siitä seuraava menetelmiä käyttävien agenttiryhmien muutokset ovat tärkeässä roolissa: määrittelemällä osuudet vakioiksi eläimellisten vaistojen ja tuotantokuilun korrelaatio sekä rahapoliittisten shokkien vaikutukset heikentyvät merkittävästi. (De Grauwe & Macchiarelli, 2015, 102, 105.)

Rahoitussektori voimistaa eläimellisten vaistojen heilahteluja ja indeksin saamia ääriarvoja, mikä vuorostaan voimistaa suhdannevaihteluita. Pankkien korkomarginaalin ja eläimellisten odotuksien välinen korrelaatio onkin lievästi negatiivinen. Hyvän talouskehityksen aikana, optimismin vallitessa, yritysten pääoma kasvaa, mikä johtaa pankkien perimän koron laskuun, mikä vuorostaan kasvattaa investointeja yhtälön (24) mukaisesti. Tätä vaikutusta vaimentaa kuitenkin pankkien vakioitu omavaraisuusaste ja se, että pankkien on saatava lainattavat varansa talletuksina. Huomionarvoista on, että valitun omavaraisuusasteen nostaminen ei kuitenkaan vähennä eläimellisten vaistojen ja tuotantokuilun välistä korrelaatiota merkittävästi. (De Grauwe & Ji, 2017, 102-104.)

Kun mallia laajennetaan niin, että pankit voivat omistaa yritysten osakkeita, voimistuvat suhdannevaihtelut merkittävästi. Lisäksi tällöin pankkien omavaraisuusasteen nosto vähentää huomattavasti tuotantokuilun ja eläimellisten vaistojen korrelaatiota. (De Grauwe & Macchiarelli, 2015, 109.)

De Grauwe ja Ji (2017) simuloivat heidän kahden valtion mallilaajennustaan eri tarjonta- ja kysyntäshokkien korrelaatioiden ja rajatuontialttiuden m arvoilla tutkiakseen saatujen tuloksien herkkyyttä näiden parametrien suhteen. Rajatuontialttiuden suurentamisen huomataan kasvattavan sekä valtioiden sisäisten eläimellisten vaistojen että niiden tuotantokuilujen välistä korrelaatiota: kun alttiutta kasvatetaan esimerkiksi nollassa yhteen, kyseiset korrelaatiot vahvistuvat 50–70 prosenttiyksiköllä sekä yhden että kahden keskuspankin mallissa. Yhteys ei ole kuitenkaan lineaarinen, vaan suurimmat vaikutukset havaitaan pienillä $m:n$ arvoilla (funktio on pääpiirteittäin konkaavi). Tämä epälinearisuus on erityisen selkeää valtioiden kuuluessa samaan rahaliittoon. Lisäksi tässä yhteisen keskuspankin mallissa valtioiden suhdannevaihtelut ovat kokonaisuudessaan synkronoidummat kuin kahden keskuspankin tapauksessa. (De Grauwe & Ji, 2017, 399-402.)

Kun valtioiden kysyntä- ja tarjontashokit asetetaan korreloimattomiksi, ovat niiden tuotantokuilujen korrelaatiot positiivisia sekä rahaliiton (0,7) että omien keskuspankkien tapauksessa (0,4). Tämä voidaan selittää itseään toteuttavilla odotuksilla: Esimerkiksi positiivinen shokki luo optimistisuutta, mikä ensinnäkin edesauttaa kotimaan talouden positiivista kehitystä ja toiseksi lisää tuontia. Tämä tuonnin lisääntyminen luo talouskasvua ja optimismia vuorostaan toiseen valtioon, johon alkuperäinen shokki itsessään ei vaikuttanut, mikä puolestaan lisää tuontia ensimmäisestä valtiosta, ja niin edelleen. Eläimelliset vaistot ovat korreloituneita rahaliiton tapauksessa jopa silloin, kun valtioiden shokkien väliseksi korrelaatioiksi asetetaan -1, mikä johtaa odotettua vähemmän negatiiviseen tuotantokuilujen korrelaatioon -0,6. Tätä selittää yhteisen keskuspankin asettamaan korkotasoon kohdistuvat shokit, jotka aiheuttavat samansuuntaisia muutoksia kummankin valtion agenttien odotuksiin. (De Grauwe & Ji, 2017, 401-404.)

3.3 Jaimovichin ja Rebelon (2007) malli

Jaimovich ja Rebelo (2007) esittelevät modifioidun neoklassisen kasvumallin (neoclassical growth model) tarkastellakseen tilanteita, joissa (populaatiota) edustavan agentin (representative agent) odotukset eivät muodostu täysin rationaalisesti. He keskittyvät optimismiin ja liialliseen itseluottamukseen ("overconfidence"), jotka ovat tunnettuja, rahoituksen käyttäytymistaloustieteessä huomiota saaneita ihmisten käyttäytymisessä esiintyviä vinoumia. Näihin pohjautuvien mallivariaatioiden käyttäytymistä tarkastellaan rinnakkain vastaavien rationaalisuuteen perustuvien variaatioiden kanssa. Lisäksi saatuja simulaatiotuloksia verrataan Yhdysvaltojen taloudellisten makromuuttujien käyttäytymiseen toisen maailmansodan jälkeen. (Jaimovich & Rebelo, 2007, 361-362.) Koska tarkasteltava Jaimovichin ja Rebelon (2007) malli esiintyy myös heidän vuonna 2006 julkaistussa työpaperissaan, viitataan seuraavassa mallin esityksessä myös tähän artikkeliin.

Jaimovichin ja Rebelon (2007, 362-363) käyttämässä mallissa edustava agentti optimoi kulutuksensa maksimoimalla elinikäisen ($t \in [0, \infty[$) utiliteettinsa. Perinteiseen neoklassiseen kasvumalliin verrattuna utiliteettifunktion on lisätty pieni, lyhyen aikavälin varallisuusvaikutus ("wealth effect") työn tarjontaan. Tämä tarkoittaa, että odotetun elinikäisen varallisuuden kasvulla on suora positiivinen vaikutus tehtyjen työtuntien määrään. Ilman tätä muutosta paranevaa tuottavuutta ennakoivat uutiset, joiden tarkempi luonne esitellään myöhemmin, vähentäisivät tehtyjä työtunteja, koska vapaa-ajan kysyntä kasvaa, kun kulluttajat ennakoivat positiivisten uutisten valossa varallisuutensa kasvavan. (Jaimovich & Rebelo, 2006, 2, 9.)

Tuotanto hetkellä t on määritelty kahdella eri tavalla:

$$Y_t = A(u_t K_t)^{1-\alpha} N_t^\alpha = C_t + \frac{I_t}{z_t}, \quad (28)$$

missä u_t on pääoman hyödyntämisaste, K_t pääoma, N_t työvoima, C_t kulutus, I_t investoinnit ja z_t investointiteknologian tehokkuus hetkellä t (Jaimovich & Rebelo, 2007, 363). Lisäksi A kuvaa työvoiman tehokkuutta tai yleistä teknologian tasoa ja α tuotannon joustavuutta työvoiman suhteen. Jaimovichin ja Rebelon (2006, 2) luomassa mallissa pääoman hyödyntämisaste u_t on ajassa muuttuva, toisin kuin perinteisissä neoklassisissa kasvumalleissa. Ilman tätä muutosta yhtälön (28) nojalla positiivisten uutisten aiheuttama lisääntynyt kulutus tarkoittaisi investointien vähentymistä ajalle, kun uutisten ennustama tuottavuuden z_t kasvu ei ole vielä realisoitunut tai osoittautunut virheelliseksi. Nyt positiiviset uutiset kuitenkin nostavat pääoman hyödyntämisastetta mahdollistaen investointien lisääntymisen ja kokonaistuotannon kasvamisen. (Jaimovich & Rebelo, 2006, 8, 12.)

Yhtälössä (28) esiintyvä pääoman määrä K_t perustuu edellisperiodilla tehtyihin investointeihin sekä silloin käytössä olleen pääoman määrään ja kulumiseen. Investointien vähentäminen ja lisääminen edellisperiodiin verrattuna aiheuttaa kuitenkin tässä mallissa mukauttamiskuluja ("adjustment cost to investment"). (Jaimovich & Rebelo, 2007, 363.) Jaimovich ja Rebelo (2006, 11) toteavat myös tämän lisäyksen olevan välttämätön, jotta positiiviset uutiset eivät johda investointien laskuun kulutuksen syrjäyttämänä.

Mallista tekee dynaamisen investointiteknologian z_t satunnaiskulkua noudattava kehitys. Tämän stokastisen prosessin satunnaismuuttuja ε_t muodostaa Markovin ketjun, jonka kahden pisteen tilajoukko (eli mahdollisten arvojen joukko) on $\{0,0000; 0,0115\}$ ja siirtymämatriisi

$$\begin{pmatrix} 0,74 & 0,26 \\ 0,26 & 0,74 \end{pmatrix},$$

jolloin ε_t :n ensimmäisen asteen autokorrelaatio on 0,48. Kunkin periodin toteutunut teknologinen kehitys vaikuttaa täten seuraavan periodin kehityksen todennäköisyyksiin. Lisäksi, koska ε_t saa keskimäärin positiivisia arvoja, tuotanto kasvaa ajan myötä. (Jaimovich & Rebelo, 2007, 363-364.)

Jaimovich ja Rebelo (2007) simuloivat mallia aluksi rationaalisilla agenteilla, jotka siis ottavat huomioon teknologisen kehityksen autokorrelaation. Saadut tulokset ovat pitkälti johdonmukaisia Yhdysvaltojen talouden makromuuttujien käyttäytymisen kanssa, ja malli selittää 69% datassa esiintyvistä tuotannon volatiliteteista. (Jaimovich & Rebelo, 2007, 364.) Simuloinnissa käytetyt parametrit pohjautuvat Jaimovichin ja Rebelon (2006) valitsemiin (Jaimovich & Rebelo, 2007, 363). Jaimovich ja Rebelo (2006, 14-15) tarkastelevat mallin robustisuutta tarkemmin ja esittelevät parametrien sallitut vaihteluvälit.

Optimistiset agentit eroavat rationaalisista siten, että he ennustavat satunnaismuuttujan ε_t saavan 20% todellisuutta suurempia arvoja. Tämän vuoksi heidän ennustuksensa tulevaisuudesta ovat aina todellista odotusarvoa positiivisempia. Kun mallia simuloidaan optimistisilla agenteilla, huomataan investointimäärän olevan keskimäärin optimaalista tasoa korkeammalla, mikä johtuu ylioptimistisista odotuksista teknologiakehityksen suhteen. Kun tuloksia verrataan

rationaalisilla agenteilla saatuihin, huomataan tuotannon volatiilisuuden olevan hieman isompi, mihin vaikuttaa teknologiakehityksen suurempi odotettu hajoa. Yli-investointi ja hieman suurempi tuotannon volatiilisuus pois lukien kahden ensimmäisen simulaation tulokset ovat hyvin samankaltaiset. (Jaimovich & Rebelo, 2007, 364-366.)

Seuraavaksi Jaimovich ja Rebelo (2007) lisäävät malliinsa uutisia tulevaisuudesta. Uutiset hetkellä t kertovat tarkkuudella $0 \leq d \leq 1$ (tässä tutkimuksessa on valittu $d = 0,85$) kumman arvon investointiteknologian kehitykseen vaikuttava satunnaismuuttuja kahden periodin päästä (eli ε_{t+2}) saa. Rationaaliset agentit hyödyntävän tätä tietoa Bayesin säännön mukaisesti, jolloin tuotannon volatilitteetti luonnollisesti pienenee, koska ennustukset satunnaismuuttujan ε_t tulevista arvoista tarkentuvat. Liialliseen itseluottamukseen taipuvaiset agentit sen sijaan tulkitsevat uutiset täysin paikkaansa pitäviksi ($d = 1$), minkä vuoksi he yli-investoivat (ali-investoivat) uutisten vihjatessa paremmasta (heikommasta) kehityksestä. Tämä aiheuttaa huomattavasti suuremman tuotannon volatilitteetin kuin vastaava uutisilla täydennetty malli, jossa agentit ovat rationaalisia. (Jaimovich & Rebelo, 2007, 366-367.)

3.4 Westerhoffin ja Franken (2012) malli

Westerhoff ja Franke (2012) esittelevät yksinkertaisen keynesiläistyypin hyödykemarkkinamallin (Keynesian-type goods market model), jossa suhdannevaihtelut syntyvät yritysten rajoittuneeseen rationaaliin odotuksiin perustuvien investointipäätösten seurauksena. Käytössä kaksi eri tapaa, ekstrapoloiva ja regressiivinen, ennustaa kokonaistuotannon kehittymistä. Yrityksien ennustusmenetelmien valintaan vaikuttavat vinoumat ("predisposition effect"), laumavaikutus ("herding effect") ja markkinatilanne ("market assessments"). (Westerhoff & Franke, 2012, 1, 4-5.) Seuraavaksi malli käydään läpi pääpiirteittäin, ja lopuksi kerrotaan saaduista tuloksista.

Malli pohjautuu Samuelsonin kerroin-kiihdytinmalliin (multiplier-accelerator model), jossa kokonaistuotanto mukautuu kokonaiskysyntään viiveellä, joka on tässä yksi periodi. Tällöin siis

$$Y_{t+1} = Y_t + a(Z_t - Y_t), \quad (29)$$

$$Z_t = C_t + I_t + G_t \quad (30)$$

ja

$$C_t = bY_t, \quad (31)$$

missä Y_t on kokonaistuotanto hetkellä t , a on markkinoiden mukautumisnopeus, Z_t kokonaiskysyntä, C_t kulutus, I_t investoinnit, G_t julkinen kulutus ja b rajakulutusalttius. Julkisen kulutuksen oletetaan olevan positiivinen vakio, ja yksinkertaisuuden vuoksi asetetaan $a = 1$. (Westerhoff & Franke, 2012, 21-23.)

Kun yrityksiä normalisoidaan yhteen, kokonaisinvestoinnit saadaan yhtälöstä

$$I_t = n_t^e I_t^e + n_t^r I_t^r, \quad (32)$$

missä n_t^e kertoo ekstrapoloivaa ennustusmenetelmää käyttävien yritysten osuuden, I_t^e viittaa tällaisen yksittäisen yrityksen investointeihin ja n_t^r sekä I_t^r ovat vastaavat muuttujat regressiivisen ennustusmenetelmän osalta. Yksittäisen ekstrapoloivaa menetelmää käyttävän yrityksen investoinnit hetkellä t ovat

$$I_t^e = \bar{I}^e + i_0^e (E_t^e [Y_{t+1}] - Y_t) + \varepsilon_t^e, \quad (33)$$

missä \bar{I}^e on autonomiset investoinnit, $i_0^e > 0$ kertoo yrityksen ennustaman kokonaistuotannon kasvun vaikutuksen investointeihin ja ε_t^e kuvaa satunnaista vaihtelua, joka on normaalisti jakaantunut nollan ympärillä. Yksittäisen regressiivistä ennustusmenetelmää käyttävän yrityksen investoinnit saadaan vastaavalla tavalla. (Westerhoff & Franke, 2012, 23-24.)

Ekstrapoloitu ja regressiivinen ennustus seuraavan periodin tuotannosta saadaan tässä järjestyksessä yhtälöistä

$$E_t^e [Y_{t+1}] = Y_t + i_1^e (Y_t - Y_{t-1}) + \eta_t^e \quad (34)$$

ja

$$E_t^r [Y_{t+1}] = Y_t + i_1^r (Y^* - Y_t) + \eta_t^r, \quad (35)$$

missä Y^* on tuotannon pitkän aikavälin tasapainoarvo, η_t^e ja η_t^r ovat nollan ympärillä normaalisti jakautuneita virhetermejä, $i_1^e > 0$ kuvaa ekstrapoloinnin vahvuutta ja $0 < i_1^r < 1$ tasapainoon palautumisen odotettua nopeutta (Westerhoff & Franke, 2012, 24).

Ennustusmenetelmien houkuttelevuudet saadaan puolestaan yhtälöistä

$$U_t^e = c_p^e + c_h n_t^e - c_m^e (Y^* - Y_t)^2, \quad c_m^e > 0 \quad (36)$$

ja

$$U_t^r = c_p^r + c_h n_t^r - c_m^r (Y^* - Y_t)^2, \quad c_m^r > 0, \quad (37)$$

missä c_p^e sekä c_p^r kuvaavat vinoumien ja c_m^e sekä c_m^r markkinatilanteen vaikutusta ja c_h laumavaikutusta (Westerhoff & Franke, 2012, 25). Yrityksien valinta ei täten perustu historiallisen suorituskyvyn ympärille kuten teoriaosuudessa esitellyssä AREDisa. Ennustusmenetelmää käyttävien yritysten osuus muodostuu

kuitenkin AREDin yhtälön (10) mukaisesti vaihtamishalukkuudella $\beta = 1$, mikä on nähtävissä Westerhoffin ja Franken (2012, 26) mallin täydentävistä yhtälöistä.

Tutkijat valitsevat käytettävät parametrit siten, että simulointi tuottaa jossain määrin todellisuutta vastaavia suhdannevaihteluita. Mallin dynamiikkaa voi kuvata seuraavasti: Yritykset suosivat lähtökohtaisesti ekstrapoloivaa ennustustapaa, koska on asetettu, että $c_p^e > c_p^f$. Tämä johtaa investointien kautta tuotantokuilun kasvamiseen, mikä kasvattaa regressiivisen menetelmän suosiota johtaen lopulta tuotantokuilun kutistumiseen ja talouden tasapainottumiseen. Tasapainopisteen lähellä yritykset rupeavat siirtymään jälleen ekstrapoloivaan ennustusmenetelmään, jolloin uusi sykli käynnistyy. Mallin suhdannevaihteluihin vaikuttavat kuitenkin myös satunnaiset shokit ja laumavaikutus. (Westerhoff & Franke, 2012, 25-28.)

TAULUKKO 1 – Yhteenveto läpikäydyistä tutkimuksista

Tutkimus	Malli pohjautuu	Agentit
De Grauwe ja Macchiarelli (2012).	De Grauwe (2012); uusikeynesiäinen malli, hyödyntää AREDia.	Heterogeeniset odotukset.
De Grauwe ja Ji (2017).	De Grauwe (2012); uusikeynesiäinen malli, hyödyntää AREDia.	Heterogeeniset odotukset.
Jainovich ja Rebelo (2007).	Neklassinen kasvumalli.	Homogeeniset odotukset.
Westerhoff ja Franke (2012).	Samuelsonin kerroin-kiihdyttinmalli, ARED-muokaus.	Yrityksien odotukset heterogeenisiä; kuluttajat homogeenisiä.

(Taulukko jatkuu seuraavalla sivulla)

Käyttäytyminen	Muu huomio	Parametrit	Tulokset
Kaksi ennustusmenetelmää: fundamentaalinen ja ekstrapoloiva.	Sisältää pankkisektorin.	Kirjallisuuteen perustuen.	Pankkisektori voimistaa endogeenisten elämellisten vaistojen heilahteluita ja siten epänormaalisti jakautuneita suhdannevaihteluita.
Kaksi ennustusmenetelmää: fundamentaalinen ja ekstrapoloiva.	Sisältää kaksi valtiota.	Kirjallisuuteen perustuen.	Valtioiden suhdannevaihtelut ja elämelliset vaistot korreloivat endogeenisesti.
Variaatiot: 1) optimismi ja 2) liiallinen itsetuottamus.	Variaatio 2 sisältää epävarmoja uutisia tulevasta teknologian kehityksestä.	Valittu käsin.	1) Aiheuttaa yli-investoimista ja 2) lisää tuotannon volatiliiteettia.
Ekstrapoloiva ja regressiivinen menetelmä; laumavaikeus, markkinatilanne ja viinoutmat vaikuttavat valintaan.		Valittu käsin; robussti monilla valinnoilla.	Ennustusmenetelmien suosion vaihtelu aiheuttaa suhdannevaihtelua.

4 POHDINTA

4.1 Käsitellyt tutkimukset ja oikeiden oletuksien valitseminen

Edellisessä luvussa käytiin läpi kolme rakenteeltaan hyvin erilaista mallia, jotka eivät perustu oletukseen agenttien puhtaan rationaalisista odotuksista. Seuraavaksi tarkastellaan näiden mallien eroavaisuuksia ja pohditaan oletuksien valittamisen ongelmaa.

Tarkastelluissa malleissa rajoittunut rationaalisuus toteutuu eri ryhmien odotuksissa. De Grauwen (2012) mallin variaatioissa kaikki agentit valitsevat käyttämänsä ennustusmenetelmän samanlaisen arviointiprosessin avulla. Tästä huolimatta agenttien odotuksissa on eroja, sillä kaikki eivät aina päädy valitsemaan parhaiten suoriutunutta menetelmää, mikä näkyy mallissa yhtälön (17) eksogeenisen vaihtamishalukkuuden β äärellisenä arvona.

De Grauwen ja Macchiarellin (2015) mallimodifikaation yhtälöistä (22) ja (23) nähdään suoraan, kuinka yritykset ja kuluttajat valitsevat käyttämänsä ennustusmenetelmän identtisillä päätöksentekoprosesseilla, mikä ei välttämättä vastaa hyvin todellisuutta. Esimerkiksi Zhao, Lu ja Zeng (2019, 602-603) arvioivat heterogeenisiin, mukautuviin odotuksiin pohjautuvalla uusikeynesiläisellä mallilla odotustenmuodostumista Kiinassa päätyen siihen, että kotitalouksista rationaalisia on noin 14 % ja rajoittuneen rationaalisia noin 88 %, kun yritysten osalta vastaavat luvut olivat 54 % ja 46%. Tulokset ovat uskottavan suuntaisia: Investointien onnistumista edesauttaa onnistunut talouskehityksen ennustaminen, jota varten yrityksillä on kotitalouksia enemmän myös resursseja käytettävissään. Lisäksi kilpailu ja luova tuho ovat omiaan karsimaan epäoptimaalisesti käyttäytyviä yrityksiä.

Sen sijaan Westerhoffin ja Franken (2012) mallissa rajoittunut rationaalisuus koskee pelkästään yrityksiä, sillä kulutuksen oletetaan perustuvat pelkästään toteutuneeseen kokonaistuotantoon yhtälön (31) mukaisesti. Myös tässä mallissa ennustuksia tekevät agentit ovat heterogeenisiä, sillä vaihtamishalukkuudeksi on asetettu $\beta = 1$.

Kahdesta muusta tarkastellusta mallista poiketen Jaimovichin ja Rebelon (2006) mallissa esiintyy populaatio edustava agentti ja siten agenttien odotuksien oletetaan olevan homogeenisia. Kognitiivisina vinoumina ilmenevä rajoittunut rationaalisuus koskee siis koko populaatiota.

Sen lisäksi, että rajoittunut rationaalisuus kohdistuisi eri agentteihin, myös itse odotuksien muodostuminen perustuu erilaisiin oletuksiin agenttien käyttäytymisestä. De Grauwen (2012) mallissa agentit ovat siinä mielessä rationaalisia, että heidän ennustusmenetelmänsä valintaa ohjaa niiden historiallinen suoriutuminen yhtälöiden (17)–(20) mukaisesti. Jaimovichin ja Rebelon (2007) valitsema näkökulma on huomattavan erilainen, sillä agenttien odotuksiin vaikuttaa mallivariaatiosta riippuen joko optimismi tai ylisuuri itseluottamus, jonka vaikutuk-

sia he eivät opi välttämään. Westerhoffin ja Franken (2012) mallissa on samankaltaisuuksia kummankin edellisen mallin kanssa: yritykset valitsevat käyttämänsä ennustusmenetelmän osittain vallitsevan taloustilanteen mukaan, mutta päätöksentekoon vaikuttaa yhtälöiden (34) ja (35) mukaisesti myös laumavaikutus ja preferensseihin liittyvät vinoumat.

Tässä tutkielmassa läpikäytyjen lisäksi on muita tutkimuksia, joissa makrotalouden toimintaa on tulkittu rajoittuneeseen rationaalisuuteen perustuvalla mallintamisella. Esimerkiksi Gabaixin (2016, 1-2) mallissa agentit ratkaisevat elinikäisen kulutuksen ja säästämiseen ongelmaa yksinkertaistetulla mallilla, minkä huomataan johtavan suhdannevaihteluiden pitkittymiseen ja voimakkuuksien kasvamiseen. Painopisteiltään hieman erilaisia kirjallisuuskatsauksia rajoittuneen rationaalisuuden roolista makrotaloudessa ovat tehneet esimerkiksi Evans ja Honkapohja (2013), Driscoll ja Holden (2014) ja Hommes (2018).

Rajoittuneen rationaalisia odotuksia hyödyntävien tutkimuksien lähestymistapojen kirjo herättää helposti kaksi ajatusta: Ensimmäinen on huomio siitä, että vaikka rajoittunut rationaalisuus on käsitteenä hyödyllinen, se kattaa niin laajan joukon ajatuksia, ettei sitä voi tarkastella pelkästään yhtenä kokonaisuutena. Tästä näkökulmasta rationaalisten ja rajoittuneen rationaalisten odotusten asettaminen vastakkain ei ole aina mielekäästä, vaan jälkimmäistä olisi hyvä tarkastella pienempinä kokonaisuuksina. Toinen on kysymys siitä, mitkä ovat ”oikeat” oletukset, joiden päälle makrotaloudellinen malli tulisi rakentaa. Kaikki tässä tutkielmassa läpikäydyt mallit ovat saaneet inspiraatiota todellisuudessa havaituista ilmiöistä, kuten laumavaikutuksesta, ylioptimismista, liiallisesta itsetuottamuksesta ja epärationaalisesta ennustamisesta (viimeisestä ks. esim. Assenza, Hommes ja Massaro (2014)). Tämä kysymys johdattaakin pohtimaan tarkemmin mallien mikroperustoja, mitä käsitellään seuraavassa alaluvussa.

4.2 Mikroperustat ja niiden todenmukaisuus

Mallin mikroperusta voi kasvattaa sen uskottavuutta ainakin kahdella tavalla: Ensimmäinen liittyy siihen, että malli on johdettu mikrotason oletuksista. Makromallin mikrotasosta johtamista vaikeuttaa Sonnenschein–Mantel–Debreun aggregointiongelma, jolla viitataan siihen, että yksittäisten agenttien käyttäytymisiin liittyvät ominaisuudet eivät ole suoraan siirrettävissä agenteista koostuvan ryhmän käyttäytymiseen, jota makromalleissa käsitellään (Colander ym., 2008, 236). Koska suositut DSGE-mallit on johdettu rationaalisista odotuksista (Colander ym., 2008, 236-237), niihin perustuvia, rajoittunutta rationaalisuutta hyödyntäviä malleja ei välttämättä voi vastaavalla tavalla johtaa muokatuista mikrotason oletuksista. Esimerkiksi ensimmäisenä käsiteltyä De Grauwen (2012) mallia ei ole johdettu mikroperustasta (De Grauwe & Macchiarelli, 2015, 97).

Joillekin rajoittuneeseen rationaalisuuteen perustuvilla malleilla on pyritty kehittämään mikropohjaa. Esimerkiksi Branch ja McGough (2009) ovat johtaneet IS-käyrän ja Phillipsin käyrän rajoittuneen rationaalisten agenttien ja heterogeenisten odotuksien lähtökohdista, mutta tätä varten he kuitenkin asettivat useita

rajoituksia odotusten muodostumisille (Franke & Westerhoff, 2017, 1163; Hommes, 2018, 46). Lisäksi Branch ja McGough (2009) olettavat agenttien maksimoivan utiliteettinsa äärettömän pitkällä horisontilla, mitä voi pitää epäjohdonmuokaisena rajoittuneen rationaalisuuden periaatteen kanssa (Franke & Westerhoff, 2017, 1163).

Toinen tapa, jolla mikroperusta voi parantaa uskottavuutta, on mikro-oletuksien realismisuus. Tämä onkin käyttäytymistaloustieteeseen pohjautuvan mallintamisen tärkeimpiä motiiveja. Tästä huolimatta esimerkiksi Westerhoff ja Franke (2012, 26-27) eivät valitse mallissaan käytettäviä parametrejä taloustieteelliseen kirjallisuuteen perustuen vaan käsin niin, että simulaatio tuottaa kohtuullisesti todellisuutta vastaavia tuloksia. Myös Jaimovich ja Rebelo (2007) joutuvat tekemään keinotekoisia oletuksia, kuten lyhyen aikavälin varallisuusvaikutus työn tarjontaan, saadakseen mallin käyttäytymään toivotulla tavalla. Tällaisten käytännön haasteiden lisäksi ongelmaksi saattaa muodostua se, että ihmisten tapa muodostaa odotuksia saattaa muuttua ajassa, mahdollisesti kerääntyvän tutkimistiedon ajamana. Rationaaliin odotuksiin perustuva valtavirtamalli voisi olla osaltaan jopa itseään toteuttava, sillä ainakin osa agenteista saattaa luoda odotuksensa suosituimman mallin perusteella, jolloin ne luonnollisesti vastaisivat mallin ennustamia rationaalisia, optimaalisia odotuksia.

Malli, joka on johdettu realistisiin oletuksiin perustuvasta mikropohjasta, auttaa todennäköisemmin ymmärtämään paremmin todellisuutta kuin ad hoc -malli, joka lähtökohtaisesti vain matkii ilmiöitä, joita silmällä pitäen se on rakennettu. Tästä syystä, vaikka monet rajoittuneeseen rationaalisuuteen perustuvat mallit pyrkivät kuvaamaan realistisemmin agenttien käyttäytymistä, vähentää niiden uskottavuutta usein tehdyt kompromissit mikroperustasta johtamisen suhteen. Toisaalta, vaikka homogeenisten rationaalisten agenttien pohjalta on rakennettu mikroperustasta johdettuja malleja, vähentää niiden uskottavuutta puolestaan rationaalisuusoletuksen epärealistisuus. On tärkeää huomata, että kun mikroperustasta johtaminen on sinänsä vain tekninen prosessi, ovat epärealistiset oletukset määritelmällisesti ristiriidassa todellisuuden kanssa.

4.3 Rajoittuneen rationaalisten odotuksien tarpeellisuus

Kaikki eivät näe käyttäytymistaloustieteellistä lähestymistapaa tarpeellisenä. Tätä on perusteltu muun muassa sillä, että esimerkiksi yleisesti käytetty, agenttien rationaalisuuteen perustuva uusikeynsiläinen malli on modifikaatioiden avulla saatu vastaamaan paremmin todellisuudessa havaittuja ilmiöitä. Perinteisen version kaksi merkittävää todellisuuden kanssa ristiriitaista tulosta on, että shokeilla ei ole vaikutusta tuleviin periodeihin ja inflaation tulisi laskea korkeasuhdanteen ($\tilde{y} > 0$) aikana. Näitä on pyritty korjaamaan esimerkiksi tekemällä osasta agenteista taaksepäin ja osasta eteenpäin katsovia, mitä on kuitenkin kritisoitu empiirisen todistusaineiston vastaiseksi. (Driscoll & Holden, 2014, 135, 143.) Inertiaa pyritty tuottamaan myös hintajäykkyyksillä (sticky prices) ja korotason tasoittamisella (interest rate smoothing) (De Grauwe & Macchiarelli,

2015, 101). Mahdolliset empiirisen todistusaineiston kanssa ristiriitaiset laajennukset kuitenkin heikentävät mallin uskottavuutta tuottaen uutta hyödyllistä tietoa. Toisaalta empiirian tukemat laajennukset voivat olla yhteensopivia myös rajoittuneeseen rationaalisuuteen pohjautuvien mallien kanssa. Tässä mielessä esimerkiksi hintajäykkyydet eivät ole kilpaileva mallinnuskeino.

Oleellinen tapa arvioida malleja on tutkia, missä määrin ne pystyvät tuottamaan todellisuutta vastaavia tuloksia. Koska mallit ovat yksinkertaistuksia todellisuudesta, ei niitä voida tuomita pelkästään tehtyjen oletuksien perusteella. Esimerkiksi De Grauwen ja Jin (2017, 401-403, 406) kahden valtion malli tuottaa endogeenisesti valtioiden suhdannevaihteluiden välisen korrelaation, joka on empiirisesti havaittu ilmiö ja jota valtavirran DSGE-mallit eivät yleisesti ottaen pysty tuottamaan ilman oletusta eksogeenisten shokkien korrelaatiosta. De Grauwe ja Macchiarelli (2015, 111-113) puolestaan huomaavat heidän yksinkertaistetun mallinsa tuottavat empiirisessä datassa havaittua tuotantokuilun autokorrelaatiota ja epänormaalisuutta, mihin yksinkertainen uusikeynesiläinen malli ei kykene. Franke ja Westerhoff (2017, 1173-1175) tulkitsevat Franken (2012) ja De Grauwen (2012) mallien saavan jossain määrin empiiristä tukea kirjallisuudessa tehtyjen estimointien perusteella.

Rationaalisten odotuksien hypoteesin realistisuutta voidaan yleisellä tasolla puolustaa sillä, että makrotason odotuksien rationaalisuus ei vaadi, että jokainen taloudellinen toimija muodostaisi odotuksensa rationaalisesti. Sen sijaan oleellista on, että toimijoiden odotukset jakautuvat talouden toiminnan taustalla todellisuudessa olevan mallin odotusarvojen ympärille niin, että virheet (kokonaisuudessaan) ovat sarjakorreloimattomia ja epäsystemaattisia (Hoover, 1992, 81). Toisin sanoen (kokonais)odotuksien rationaalisuus ei sulje pois edes sitä, että yksittäisen agentin, jolla ei ole merkittävää markkinavoimaa, odotukset olisivat esimerkiksi jatkuvasti optimistisia, kunhan tällainen käyttäytyminen ei ole systemaattista populaation tasolla: taipumus optimistisuuteen ei saa olla todennäköisempää kuin taipumus pessimistisyyteen. Tällaisten odotuksiin liittyvien virheiden salliminen ei kuitenkaan vaikuta oleellisesti rationaalisiiin odotuksia vastaan yleisesti esitettyyn kritiikkiin: Ensinnäkin agenttien täytyy hypoteesin nojalla muodostaa odotuksensa ikään kuin he tuntisivat talouden todellisen mallin (Hoover, 1992, 81), sillä erilaisten mallien tuottamat odotuksien jakaumat ovat lähes välttämättä systemaattisesti erilaisia ja siten niiden käyttäminen rikkoisi oletuksen virheiden epäsystemaattisuudesta. Toiseksi käyttäytymistaloustiede nimenomaisesti tutkii ja on paljastanut systemaattisia, väestötasolla havaittavia käyttäytymiseen liittyviä vinoumia, psykologisia tekijöitä ja epärationaalisuutta.

Rajoittuneen rationaalisten odotuksien hyödyllisyyttä arvioidessa on kiinnostavaa tarkastella kyselyissä havaittua odotustenmuodostumista. Heterogeenisyyteen ja ennustusmenetelmien vaihtamiseen perustuvat mallit ovatkin saaneet tukea useista kyselydataa tutkineista tutkimuksista (kirjallisuuskatsauksista ks. esimerkiksi Franke ja Westerhoff (2017, 1170-1172) ja Hommes (2018, 54-58)).

Myös kokeellinen makrotaloustiede voi auttaa ymmärtämään, miten agenttiryhmien odotukset muodostuvat. Assenza, Bao, Hommes ja Massaro (2014) tarkastelevat kirjallisuudessa esiintyvistä kolmesta erilaisesta tutkimusasetelmasta

saatuja tuloksia: Ensimmäisessä osanottajat yrittävät ennustaa taloudellisten makromuuttujien kehitystä perustuen aikasarjoihin, jotka on luotu, tutkimuksesta riippuen, joko historiallisesta datasta tai satunnaisprosessin avulla. Toinen tutkimustapa on ennustamaan oppiminen -kokeet (learning-to-forecast experiments, LtF-kokeet), joissa aikasarjaa luodaan jonkin mallin avulla. Myös näissä kokeissa osanottajat ennustavat taloudellisten muuttujien tulevia arvoja. Erona ensimmäiseen tutkimusasetelmaan on, että tehdyt ennustukset syötetään käytetävän mallin agenttien ennustuksiksi, joiden perusteella nämä tekevät päätöksensä (esimerkiksi kulutuksen ja tuotannon suhteen), jotka vuorostaan vaikuttavat muuttujien seuraavan periodin arvoihin. Kolmas on optimoimaan oppiminen -kokeet (learning-to-optimize experiments, LtO-kokeet), jotka eroavat LtF-kokeista siten, että niissä osanottajat eivät eksplisiittisesti tee ennustuksia, vaan päättävät suoraan esimerkiksi kulutuksestaan. (Assenza ym., 2014, 5-6.)

Tulokset vaihtelevat käytetyn tutkimusasetelman mukaan. Ensimmäinen tutkimustapa, jossa tehdyt ennustukset eivät vaikuta aikasarjan kehittymiseen, ovat tuottaneet ristiriitaisia tuloksia siitä, ovatko tehdyt ennustukset rationaalisia. Sen sijaan LtF- ja LtO-kokeissa tulokset riippuvat siitä, onko systeemin antama palaute myötä- vai vastavaikutteista: Kun systeemin antama palaute on negatiivista (vastavaikutteista), talous päättyy rationaalisten odotusten mukaiseen tasapainoon, mutta palautteen ollessa positiivista (myötävaikutteista) tasapainoon ei päädytä. LtO-kokeissa negatiivisen palautteen tapauksessa tasapainoon konvergoituminen on hitaampaa ja positiivisen palautteen tapauksessa taloudessa esiintyy suurempia suhdannevaihteluita kuin LtF-kokeissa. Erot saattavat johtua osaksi siitä, että LtF-kokeissa mallin agentit optimoivat päätöksensä osanottajien ennustuksien perusteella, kun LtO-kokeissa osanottajien täytyy itse tehdä lopulliset taloudelliset päätökset odotuksiansa pohjalta. (Assenza ym., 2014, 5-6, 49.)

Kokeissa havaittua agenttiryhmien kokonaisodotuksien muodostumista on hyödynnetty myös erilaisten odotusten muodostumiseen liittyvien teorioiden testaamiseen. Esimerkiksi eräässä tuoreessa tutkimuksessa geneettinen algoritmi -optimointimenetelmää (Genetic Algorithms) hyödyntävän, Brockin ja Hommesin (1997) työhön perustuvan agenttipohjaisen odotustenmuodostumismallin havaitaan selittävän hyvin Assenzan, Heemeijerin, Hommesin ja Massaron (2013) LtF-kokeessa havaittua agenttien kokonaisodotuksien käyttäytymistä (Hommes, Makarewicz, Massaro & Smits, 2017, 1133-1135). Kirjallisuutta liittyen odotustenmuodostumismallien sovittamiseen kokeissa saatuihin tuloksiin tarkastelevat perusteellisemmin esimerkiksi Hommes (2018, 59-75) ja Assenza ym. (2014, 38-41).

Kokeissa saatuja tuloksia on kuitenkin syytä tulkita varauksella. Monet makrotaloustieteilijät suhtautuvat kokeelliseen taloustieteeseen epäillen, joskin kiinnostus sitä kohtaan on kasvanut (Hommes, 2018, 59). Kokeiden vakuuttavuutta saattaa vähentää esimerkiksi epäily siitä, ettei osanottajilla ole yhtä suuria kannustimia tehdä tarkasti harkittuja päätöksiä kuin todellisuudessa. Lisäksi makrotaloustieteellisissä kokeissa ryhmäkoko on tyypillisesti 6-12 henkilöä (Assenza ym., 2014, 7), minkä vuoksi agentin omasta toiminnastaan saama systeemin tuottama palaute on yleisesti ottaen voimakkaampaa kuin todellisuudessa.

5 LOPUKSI

Tässä kirjallisuuskatsauksessa tutkittiin, kuinka rajoittuneen rationaalisia odotuksia on hyödynnetty suhdanteita mallinnettaessa. Tätä tarkoitusta varten valittiin kolme ratkaisuiltaan huomattavan erilaista mallia, joiden rakennetta ja niillä saatuja tuloksia tarkasteltiin.

Tutkielmassa havaittiin, että rajoittuneen rationaalisten odotuksien avulla pystytään selittämään endogeenisesti suhdannevaihteluiden käyttäytymistä. Tähän pystyi jokainen tarkasteltu malli huolimatta niiden selkeästi erilaisista oletuksista ja tavoista hyödyntää rajoittuneen rationaalisia odotuksia. Lähestymistapaan todettiin liittyvän myös ongelmia: Ensinnäkin osassa malleissa joudutaan tekemään uskottavuutta heikentäviä ad hoc -oletuksia haluttujen tuloksien saamiseksi. Toiseksi, koska suhdannevaihtelua pystytään selittämään erilaisilla käyttäytymiseen liittyvillä ilmiöillä, on tarkoituksenmukaisten oletuksien valitseminen haastavaa. Kolmanneksi, koska osa tällaisista malleista on modifikaatioita makromalleista, jotka on johdettu homogeenisistä rationaalista agenteista, eivät ne ole samalla tavalla johdettavissa uudistetusta, rajoittuneeseen rationaalisuuteen perustuvasta mikropohjasta ilman rajoittavaa turvautumista alkuperäiseen oletukseen rationaalisuudesta.

Ongelmistaan huolimatta rajoittuneen rationaaliset odotukset tarjoavat varteenotettavan lähestymistavan kuvata agenttien käyttäytymistä. Ristiriita rationaalisten odotuksien ja ihmisten todellisuudessa havaitun käyttäytymisen välillä on merkittävä, ja se vähentää rationaalisuuteen perustuvien mallien uskottavuutta. Empiirinen ja kokeellinen makrotaloustiede tukevat ajatusta siitä, että rajoittuneen rationaaliin odotuksiin perustuvista malleista saattaa olla apua taloudellisten ilmiöiden ymmärtämisessä.

Vaikka politiikkatoimien vaikutusten tarkastelu ei kuulu tämän tutkielman aihepiiriin, on käsiteltävällä aiheella myös poliittista merkitystä. Talouteen liittyvien päätöksien vaikutuksia arvioidessa olisi syytä hyödyntää käytössä olevien rationaalisuuteen perustuvien makromallien lisäksi kertynyttä relevanttia tutkimustietoa ihmisten käyttäytymisestä. Agenttien mahdollisesti rajoittuneen rationaaliset odotukset saattavat aiheuttaa seurauksia, joita tavanomaiset makromallit eivät kykene ennustamaan.

Käyttäytymistaloustieteen hyödyntäminen makrotaloudellisessa mallintamisessa on suhteellisen tuore suuntaus, ja on selvää, että lisätutkimukset aiheesta ovat tarpeen. Rajoittuneeseen rationaalisuuteen liittyviä relevantteja tutkimuskohteita voisivat olla esimerkiksi makromallien johtaminen rationaalisuudesta poikkeavasta mikropohjasta, monipuolisempien mallien kehittäminen ja testaaminen sekä empirian tukemien odotuksenmuodostusmallien hyödyntäminen makrotason malleja rakennettaessa.

LÄHTEET

- Assenza, T., Bao, T., Massaro, D. & Hommes, C. H. (2014). Experiments on expectations in macroeconomics and finance. *Research in Experimental Economics*, 17, 11-70. doi:10.1108/S0193-230620140000017002
- Assenza, T., Heemeijer, P., Hommes, C. & Massaro, D. (2013). *Individual expectations and aggregate macro behavior* (Tinbergen Institute Discussion Paper, No. 13-016/II). Tinbergen Institute Discussion Paper. Haettu osoitteesta <http://hdl.handle.net/10419/87160>
- Blanchard, O. (2016). ¿Tienen futuro los modelos DSGE? *Revista de Economía Institucional*, 18(35). Haettu osoitteesta <https://search.proquest.com/docview/1844698566?accountid=11774>
- Branch, W. A. & McGough, B. (2009). A new Keynesian model with heterogeneous expectations. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 33(5), 1036-1051. doi:10.1016/j.jedc.2008.11.007
- Brock, W. A. & Hommes, C. H. (1997). A rational route to randomness. *Econometrica*, 65(5), 1059-1095. doi:10.2307/2171879
- Colander, D., Howitt, P., Kirman, A., Leijonhufvud, A. & Mehrling, P. (2008). Beyond DSGE models: Toward an empirically based macroeconomics. *American Economic Review*, 98, 236-40. doi:10.1257/aer.98.2.236
- De Grauwe, P. & Ji, Y. (2017). The international synchronisation of business cycles: The role of animal spirits. *Open Economies Review*, 28(3), 383-412. doi:10.1007/s11079-017-9434-3
- De Grauwe, P. & Macchiarelli, C. (2015). Animal spirits and credit cycles. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 59, 95-117. doi:10.1016/j.jedc.2015.07.003
- Driscoll, J. C. & Holden, S. (2014). Behavioral economics and macroeconomic models. *Journal of Macroeconomics*, 41, 133-147. doi:10.1016/j.jmacro.2014.05.004
- Evans, G. W. & Honkapohja, S. (2013). Learning as a rational foundation for macroeconomics and finance. *Rethinking expectations*. Princeton University Press. doi:10.23943/princeton/9780691155234.003.0003
- Franke, R. (2012). Microfounded animal spirits in the new macroeconomic consensus. *Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics*, 16(4). doi:10.1515/1558-3708.1898

- Franke, R. & Westerhoff, F. (2017). Taking stock: A rigorous modelling of animal spirits in macroeconomics. *Journal of Economic Surveys*, 31(5), 1152-1182. doi:10.1111/joes.12219
- Gabaix, X. (2016). Behavioral macroeconomics via sparse dynamic programming. *NBER Working Paper Series*, 21848. doi:10.3386/w21848
- Geiger, N. (2016). "Psychological" elements in business cycle theories: Old approaches and new insights. *The European Journal of the History of Economic Thought*, 23(3), 478-507. doi:10.1080/09672567.2014.951670
- Grauwe, P. D. (2012). *Lectures on behavioral macroeconomics*. Princeton; Oxford: Princeton University Press.
- Hagenhoff, T. & Lustenhouwer, J. (2019). *The Rationality Bias* (No 144, BERG Working Paper Series). Bamberg University, Bamberg Economic Research Group. Haettu osoitteesta <https://econpapers.repec.org/paper/zbwbam-ber/144.htm>
- Hommes, C. (2018). Behavioral & experimental macroeconomics and policy analysis: A complex systems approach. *IDEAS Working Paper Series from RePEc*. Haettu osoitteesta <https://jyu.finna.fi/PrimoRecord/pci.proquest2189119065>
- Hommes, C., Makarewicz, T., Massaro, D. & Smits, T. (2017). Genetic algorithm learning in a new Keynesian macroeconomic setup. *Journal of Evolutionary Economics*, 27(5), 1133-1155. doi:10.1007/s00191-017-0511-y
- Hoover, K. D. (1992). The rational expectations revolution: An assessment. *CATO Journal*, 12(1), 81. Haettu osoitteesta <http://search.ebscohost.com/lo-gin.aspx?direct=true&db=bsh&AN=9604083638&site=ehost-live>
- Jaimovich, N. & Rebelo, S. (2006). Can news about the future drive the business cycle? *American Economic Review*, 99. doi:10.1257/aer.99.4.1097
- Jaimovich, N. & Rebelo, S. T. (2007). Behavioral theories of the business cycle. *Journal of the European Economic Association*, 5(2), 361-368. Haettu osoitteesta http://econpapers.repec.org/article/tprjeurec/v_3a5_3ay_3a2007_3ai_3a2-3_3ap_3a361-368.htm
- Keynes, John & Maynard. (1936). *The general theory of employment, interest, and money*. Vol VII, *The collected writings of John Maynard Keynes* (1973). London: Macmillan.
- Lainé, M. (2018). The confidence paradox: Can confidence account for business cycles? *Journal of Economic Issues*, 52(1), 136-156. doi:10.1080/00213624.2018.1430946

Lux, T. & Zwinkels, R. C. J. (2018). Empirical validation of agent-based models. Teoksessa C. Hommes & B. LeBaron (toim.), *Handbook of computational economics volume 4* (s. 437-488). Elsevier: Amsterdam.

Marshall, A. (1923). *Money, credit and commerce*. London: Macmillan:

Westerhoff, F. & Franke, R. (2012). *Agent-based models for economic policy design: Two illustrative examples* (No 88, BERG Working Paper Series). Bamberg University, Bamberg Economic Research Group. Haettu osoitteesta <https://EconPapers.repec.org/RePEc:zbw:bamber:88>

Zhao, W., Lu, Y. & Feng, G. (2019). How many agents are rational in China's economy? Evidence from a heterogeneous agent-based new Keynesian model. *Computational Economics*, 54(2), 575-611. doi:10.1007/s10614-018-9844-3

LIITTEET

Käytetyt yhtälöt

Luvun 2.1. yksinkertainen uusikeynesiläinen mallin yhtälöt:

$$\tilde{y}_t = E_t \tilde{y}_{t+1} - \alpha(r_t - E_t \pi_{t+1} - r_t^*) + \varepsilon_t^{IS}, \quad (1)$$

$$r_t = r_t^* + E_t \pi_{t+1} + \theta_\pi(\pi_t) + \theta_y(\tilde{y}_t) + \varepsilon_t^{MP}, \quad (2)$$

$$\pi_t = \beta E_t \pi_{t+1} + \gamma(\tilde{y}_t) + \varepsilon_t^{AS}. \quad (3)$$

Luvun 2.2 AREDin yhtälöt:

$$S(p_{t+1}^e) = \operatorname{argmax} p^e q - c(q) = (c')^{-1}(p_{t+1}^e), \quad (4)$$

$$D(p_{t+1}) = S(H(\vec{P}_t)), \quad (5)$$

$$p_{t+1} = D^{-1}\left(S(H(\vec{P}_t))\right), \quad (6)$$

$$D(p_{t+1}) = \sum_{j=1}^K n_{j,t}(p_t, \mathcal{H}(\vec{P}_{t-1})) S(H_j(\vec{P}_t)), \quad (7)$$

$$\pi_j(p_{t+1}, H_j(\vec{P}_t)) = p_{t+1} S(H_j(\vec{P}_t)) - c(S(H_j(\vec{P}_t))) - C_j, \quad (8)$$

$$U_{j,t+1} = \sum_{k=0}^M w_{j,k} \pi_j(p_{t+1-k}, H_j(\vec{P}_{t-k})), \quad \sum_{k=0}^M w_{j,k} = 1, \quad (9)$$

$$n_{j,t+1} = n_{j,t+1}(p_{t+1}, \mathcal{H}(\vec{P}_t)) = \exp[\beta U_{j,t+1}] / Z_{t+1} \quad (10)$$

ja

$$Z_{t+1} = \sum_{j=1}^K \exp[\beta U_{j,t+1}].$$

Luvun 3.2.1 De Grauwen (2012) perusmallin yhtälöt:

$$\tilde{y}_t = a_1 \check{E}_t \tilde{y}_{t+1} + (1 - a_1) \tilde{y}_{t-1} + a_2 (r_t - \check{E}_t \pi_{t+1}) + \varepsilon_t^{AD}, \quad (a_2 \leq 0) \quad (11)$$

$$\pi_t = b_1 \check{E}_t \pi_{t+1} + (1 - b_1) \pi_{t-1} + b_2 \tilde{y}_t + \varepsilon_t^{AS}, \quad (12)$$

$$r_t = c_1(\pi_t - \pi_t^*) + c_2\tilde{y}_t + c_3r_{t-1} + \varepsilon_t^{TR}, \quad (13)$$

$$\check{E}_t\tilde{y}_{t+1} = n_{f,t}^y\check{E}_t^f\tilde{y}_{t+1} + n_{e,t}^y\check{E}_t^e\tilde{y}_{t+1}, \quad (14)$$

$$\check{E}_t^f\tilde{y}_{t+1} = \tilde{y}^*, \quad (15)$$

$$\check{E}_t^e\tilde{y}_{t+1} = \theta\tilde{y}_{t-1}, \quad (16)$$

$$n_{f,t}^y = \frac{\exp[\beta U_{f,j}^y]}{\exp[\beta U_{f,j}^y] + \exp[\beta U_{e,j}^y]}, \quad (17)$$

$$n_{e,t}^y = 1 - n_{f,t}^y, \quad (18)$$

$$U_{f,j}^y = \sum_{k=0}^M w_k (\tilde{y}_{t-k-1} - \check{E}_{t-k-2}^f\tilde{y}_{t-k-1})^2, \quad (19)$$

$$U_{e,j}^y = \sum_{k=0}^M w_k (\tilde{y}_{t-k-1} - \check{E}_{t-k-2}^e\tilde{y}_{t-k-1})^2. \quad (20)$$

Luvun 3.2.2 De Grauwen ja Macchiarellin (2015) pankkisektorilla täydennetyin mallin yhtälöt:

$$y_t = c_t + i_t, \quad (21)$$

$$c_t = d_1y_t + d_2\check{E}_ty_{t+1} + (1 - d_1 - d_2)y_{t-1} + d_3(r_t - \check{E}_t\pi_{t+1}) + v_t^c, \quad (d_3 < 0) \quad (22)$$

$$i_t = e_1\check{E}_ty_{t+1} + e_2(r_t - \check{E}_t\pi_{t+1}) + v_t^i, \quad (e_2 < 0), \quad (23)$$

$$i_t = e_1\check{E}_ty_{t+1} + e_2(p_t - \check{E}_t\pi_{t+1}) + v_t^i, \quad (e_2 < 0). \quad (24)$$

Luvun 3.2.3 De Grauwen ja Jin (2017) kahden valtion mallin yhtälöt:

$$\tilde{y}_t^1 = \frac{a_1\check{E}_t\tilde{y}_{t+1}^1}{1+m} + \frac{(1-a_1)\tilde{y}_{t-1}^1}{1+m} + \frac{a_2(r_t^1 - \check{E}_t\pi_{t+1}^1)}{1+m} + \frac{m\tilde{y}_t^2}{1+m} + \frac{\varepsilon_t^1}{1+m}, \quad (25)$$

$$\tilde{y}_t^2 = \frac{a_1\check{E}_t\tilde{y}_{t+1}^2}{1+m} + \frac{(1-a_1)\tilde{y}_{t-1}^2}{1+m} + \frac{a_2(r_t^2 - \check{E}_t\pi_{t+1}^2)}{1+m} + \frac{m\tilde{y}_t^1}{1+m} + \frac{\varepsilon_t^2}{1+m}, \quad (26)$$

$$r_t = c_1(\bar{\pi}_t - \pi_t^*) + c_2\bar{y}_t + c_2r_{t-1} + \varepsilon_t^{TR}, \quad (27)$$

missä $\bar{\pi}_t = \frac{1}{2}(\pi_t^1 + \pi_t^2)$, $\bar{y}_t = \frac{1}{2}(\tilde{y}_t^1 + \tilde{y}_t^2)$.

Luvun 3.3 Jaimovichin ja Rebelon (2007) mallin yhtälöt:

$$Y_t = A(u_t K_t)^{1-\alpha} N_t^\alpha = C_t + \frac{I_t}{z_t}, \quad (28)$$

ja käytetyn Markovin ketjun tilajoukko on $\{0,0000; 0,0115\}$ siirtymämatriisi

$$\begin{pmatrix} 0,74 & 0,26 \\ 0,26 & 0,74 \end{pmatrix}.$$

Luvun 3.4 Westerhoffin ja Franken (2012) mallin yhtälöt:

$$Y_{t+1} = Y_t + a(Z_t - Y_t), \quad (29)$$

$$Z_t = C_t + I_t + G_t, \quad (30)$$

$$C_t = bY_t, \quad (31)$$

$$I_t = n_t^e I_t^e + n_t^r I_t^r, \quad (32)$$

$$I_t^e = \bar{I}^e + i_0^e (E_t^e [Y_{t+1}] - Y_t) + \varepsilon_t^e, \quad (33)$$

$$E_t^e [Y_{t+1}] = Y_t + i_1^e (Y_t - Y_{t-1}) + \eta_t^e, \quad (34)$$

$$E_t^r [Y_{t+1}] = Y_t + i_1^r (Y^* - Y_t) + \eta_t^r, \quad (35)$$

$$U_t^e = c_p^e + c_h n_t^e - c_m^e (Y^* - Y_t)^2, \quad c_m^e > 0, \quad (36)$$

ja

$$U_t^r = c_p^r + c_h n_t^r - c_m^r (Y^* - Y_t)^2, \quad c_m^r > 0. \quad (37)$$